

**CONDICIONES DE SUSCEPTIBILIDAD A LA OCURRENCIA DE FENÓMENOS
DE REMOCIÓN EN MASA (FRM) EN EL CORREDOR VIAL FRAILES- VEREDA
ALTO EL TORO, MUNICIPIO DE DOSQUEBRADAS, RISARALDA**

AUXILIARES DE INVESTIGACIÓN

**STEPHANY JULIETH CARVAJAL LONDOÑO
GIOVANNA CORDOBA CASTAÑO
SANTIAGO CASTILLO CARDENAS
ISABEL CRISTINA GONZALEZ VARGAS
LUISA FERNANDA ORTIZ DUQUE**

INVESTIGADOR (ES) PRINCIPAL (ES)

ALEJANDRO ALZATE BUITRAGO

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
PEREIRA
2020**

**CONDICIONES DE SUSCEPTIBILIDAD A LA OCURRENCIA DE FENÓMENOS
DE REMOCIÓN EN MASA (FRM) EN EL CORREDOR VIAL FRAILES- VEREDA
ALTO EL TORO, MUNICIPIO DE DOSQUEBRADAS, RISARALDA**

**STEPHANY JULIETH CARVAJAL LONDOÑO
GIOVANNA CORDOBA CASTAÑO
SANTIAGO CASTILLO CARDENAS
ISABEL CRISTINA GONZALEZ VARGAS
LUISA FERNANDA ORTIZ DUQUE**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL**

**INVESTIGADOR (ES) PRINCIPAL (ES)
ALEJANDRO ÁLZATE BUITRAGO**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
PEREIRA**

2020

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	8
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	12
3. JUSTIFICACIÓN	14
4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	16
4.1 OBJETIVO GENERAL	16
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
5. MARCO REFERENCIAL.....	17
5.1 MARCO TEÓRICO	17
5.1.1 Estabilidad de taludes	17
5.1.2 Formaciones superficiales	20
5.1.3 Resistencia al cortante	21
5.1.4 Fenómenos de remoción en masa	24
5.1.5 Gestión del riesgo de desastres	27
5.2 MARCO DE ANTECEDENTES	27
5.3 MARCO LEGAL (NORMATIVO)	30
5.4 MARCO CONCEPTUAL.....	31
6. DISEÑO METODOLÓGICO	34
6.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN Y TIPO DE ESTUDIO.....	34
6.2 MATRIZ DE DISEÑO METODOLÓGICO.....	35
6.3 FASES Y RESULTADOS.....	36
7. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
7.1 PARÁMETROS FÍSICO-MECÁNICOS DE LAS FORMACIONES SUPERFICIALES DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA FRAILES.....	37
7.1.1 Granulometría.....	43
7.1.2 Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad	44
7.1.3 Contenido de humedad.....	53
7.1.4 Peso unitario	55
7.1.5 Gravedad específica	55

7.1.6	Resistencia a la compresión no confinada	56
7.1.7	Resistencia al corte	59
7.2	RELACIONES ENTRE PARÁMETROS FÍSICO-MECÁNICOS DE LOS SUELOS Y LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS EN LA CUENCA DE LA QUEBRADA FRAILES.....	60
7.2.1	Relación parámetros granulometría e índice de plasticidad	62
7.2.2	Relación parámetros contenido de humedad y limite líquido	63
8.	CONCLUSIONES	66
9.	RECOMENDACIONES	68
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Elementos que conforman un talud.....	18
Tabla 2. Principales tipos de movimientos en masa	24
Tabla 3. Factores condicionantes relevantes para cada tipo de remoción en masa	26
Tabla 4. Marco legal (normativo)	30
Tabla 5. Matriz de diseño metodológico	35
Tabla 6. Punto de localización	37
Tabla 7. Toma de muestras en cada punto.....	41
Tabla 8. Porcentaje de finos según muestra de granulometría.....	43
Tabla 9. Resultados de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad para cada muestra	45
Tabla 10. Curva de fluidez para cada muestra	46
Tabla 11. Suelos finos con un límite líquido menor al 50%.....	48
Tabla 12. Suelos finos con un límite líquido mayor al 50%.....	48
Tabla 13. Clasificación según índice de plasticidad para límite líquido menor al 50%	51
Tabla 14. Clasificación según índice de plasticidad para límite líquido mayor al 50%	51
Tabla 15. Clasificación del suelo.....	52
Tabla 16. Contenido de humedad.....	53
Tabla 17. Peso unitario	55
Tabla 18. Gravedad específica	55
Tabla 19. Valores de la resistencia a la compresión inconfiada.....	56
Tabla 20. Resultados de la resistencia a la compresión inconfiada.....	57
Tabla 21. Corte directo	59
Tabla 22. Síntesis parámetros físico mecánico de los 10 sondeos en el corredor vial	61
Tabla 23. Clasificación de susceptibilidad en relación al parámetro granulometría e índice de plasticidad	62
Tabla 24. Susceptibilidad en relación al parámetro de clasificación del suelo	62
Tabla 25. Clasificación de susceptibilidad en relación a los parámetros contenido de humedad y limite líquido	64
Tabla 26. Susceptibilidad en relación a los parámetros contenido de humedad y limite líquido	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clase de taludes	17
Figura 2. Etapas para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa según guía metodológica del SGC.....	34
Figura 3. Granulometría de las muestras.....	44
Figura 4. Límite líquido	46
Figura 5. Límite plástico.....	49
Figura 6. Índice de plasticidad	50
Figura 7. Clasificación del suelo	52
Figura 8. Contenido de humedad.....	54
Figura 9. Cohesión (kg/cm ²).....	59
Figura 10. Fricción (Grados)	60

RESUMEN

Los fenómenos de remoción en masa generados por factores naturales como condiciones del terreno, clima, fallas geológicas, cobertura natural y actividad sísmica e intervenciones antrópicas (producto de las diferentes intervenciones de la actividad humana), afectan a la población colombiana, causando daños sociales y económicos. Durante los últimos años éstos fenómenos se han presentado y afectado la microcuenca de la quebrada Frailes, y de manera particular el correo vial Frailes- Vereda Alto El Toro en el municipio de Dosquebradas, Risaralda, vía de considerable importancia, toda vez que permite el acceso a la cabecera municipal de los habitantes de la vereda Alto El Toro. En razón a lo anterior la investigación planteó como objetivo general la evaluación de la condición de susceptibilidad a la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa (FRM) en el tramo Sector Frailes-Vereda Alto El Toro, mediante el diagnóstico, muestreo y caracterización de los materiales de cada uno de los taludes y fenómenos de remoción en masa activos en el corredor vial, haciendo uso de la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa que dispuso el Servicio Geológico Colombiano. Entre los resultados más importantes se encontró que, en el tramo investigado, el porcentaje de suelos finos, oscila entre el 85,2% y el 99,9%, el menor límite líquido es del 27% y el mayor registró 91%; el límite plástico está en un rango de 17% a 63%, los suelos corresponden a finos tipo limos inorgánicos de alta plasticidad (30%); limos orgánicos e inorgánicos de media plasticidad (40%) y arcilla inorgánica de baja y media plasticidad (30%), donde sus partículas finas permiten mayor cohesión, con menor tendencia a probabilidad de deslizamiento y resistencia al corte, con una cohesión entre 0,24 y 0,89 (kg/cm²) y una fricción con un rango de 13,84 y 49,65 grados, el mayor contenido de humedad se registró en un punto ubicado a un metro desde el pie del talud, en el cual se realiza actividad de ganadería, infiriendo que las actividades agropecuarias contribuyen a incrementar factores generadores de fenómenos de remoción en masa.

Palabras claves

Fenómeno de remoción en masa, suelos, fallas geológicas, talud.

Abstract

The phenomena of mass removal generated by natural factors such as terrain conditions, weather, geological faults, natural coverage and seismic activity and anthropic interventions (product of the different interventions of human activity), affect the Colombian population, causing social damage and economical. In recent years, these phenomena have presented and affected the micro-basin of the Frailes gorge, and in particular the Frailes- village Alto El Toro road post in the municipality of Dosquebradas, Risaralda, a route of considerable importance, since it allows access to the municipal seat of the inhabitants of the Alto El Toro village. Based on the foregoing, the research proposed as a general objective the evaluation of the condition of susceptibility to the occurrence of mass removal phenomena (FRM) in the Frailes- Village Alto El Toro section, through the diagnosis, sampling and characterization of the materials of each of the slopes and mass removal phenomena active in the road corridor, using the methodological guide for studies of threat, vulnerability and risk due to mass movements that the Colombian Geological Service had. Among the most important results, it was found that, in the investigated section, the percentage of fine soils ranges between 85.2% and 99.9%, the lowest liquid limit is 27% and the highest recorded 91%; the plastic limit is in a range of 17% to 63%, the soils correspond to fine inorganic silt types of high plasticity (30%); organic and inorganic silt of medium plasticity (40%) and inorganic clay of low and medium plasticity (30%), where its fine particles allow greater cohesion, with less tendency to slip and cut resistance, with a cohesion between 0, 24 and 0.89 (kg / cm²) and a friction with a range of 13.84 and 49.65 degrees, the highest moisture content was recorded at a point located one meter from the foot of the slope, at which performs livestock activity, inferring that agricultural activities contribute to increase factors generating mass removal phenomena.

Key words: Mass Removal Phenomenon, soils, geological faults, slope.

1. INTRODUCCIÓN

Los fenómenos de remoción en masa, definidos como el proceso en el cual “un volumen de material constituido por roca, suelo, tierras, detritos o escombros, se desplaza ladera abajo por acción de la gravedad” (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2016), son comúnmente llamados desplazamientos o derrumbes y afectan e impactan en gran medida la población colombiana, los bienes y la infraestructura, en virtud al relieve montañoso, el régimen de precipitaciones, la dinámica de cambios en el uso del suelo y las características de los materiales geológicos que caracterizan a la región andina colombiana, incluido el municipio de Dosquebradas.

Éstos procesos de remoción en masa se han incrementado durante los últimos años, debido a fenómenos como la niña, pero aparte de los factores naturales, también se dan por componentes antrópicos, convirtiéndose en un tema de interés y preocupación nacional, por la amenaza que representan, puesto que el Servicio Geológico Colombiano ha declarado que el 50% del territorio nacional se encuentra en amenaza baja, el 22% en media, el 20% en alta y 4 % en muy alta (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2016).

En razón a lo anterior y a las políticas de gestión de riesgo que ha trazado el país, los estudios sobre los fenómenos de remoción en masa se convierten en una herramienta para que los entes gubernamentales a nivel nacional y local establezcan estrategias que permitan mitigar el riesgo y su vez empoderar a la comunidad a través del conocimiento de su contexto.

La presente investigación evalúa la condición de susceptibilidad a la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa (FRM) en el tramo Sector Frailes- Vereda Alto El Toro en el municipio de Dosquebradas, Risaralda, un área en condición de riesgo, cuya comunidad ha estado expuesta a diversos eventos que han causado diferentes desastres.

La investigación se rigió bajo dos objetivos específicos, el primero la identificación de los parámetros físico-mecánicos de las formaciones superficiales de la cuenca de la quebrada Frailes y el segundo establecer las relaciones entre parámetros físico-mecánicos de los suelos y la ocurrencia de deslizamientos en la cuenca de la quebrada Frailes.

Para lograr los objetivos, se consideraron algunas etapas propuestas en la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa que dispuso el Servicio Geológico Colombiano para este tipo de estudios, resaltando que el estudio se enfoca en los parámetros físico-mecánicos de las formaciones superficiales de la cuenca de la quebrada Frailes, la investigación tiene un enfoque cuantitativo haciendo análisis a través de datos estadísticos.

Para lograr el objetivo general, se trazaron dos objetivos específicos, el primero planteó la identificación de los parámetros físico-mecánicos de las formaciones superficiales de la cuenca de la quebrada Frailes, el segundo establecer las relaciones entre parámetros físico-mecánicos de los suelos y la ocurrencia de deslizamientos en la cuenca de la quebrada Frailes.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Los movimientos en masa ocurren por causas naturales o antrópicas, las primeras producto de las condiciones del terreno, como una zona con pendientes, fallas geológicas o de la cobertura vegetal, así mismo por procesos naturales como la temporada de lluvias, los sismos o la erosión del suelo, la segunda causa, por acciones del hombre, donde interviene las laderas con las talas y excavaciones, sobrecargas e interrupción de los flujos de agua.

Colombia tiene gran diversidad de accidentes geográficos, con ciertas condiciones topográficas que se convierten en el principal motivo para los movimientos de masa, de acuerdo al Servicio Geológico Colombiano “el 50% del territorio nacional se encuentra categorizado en amenaza baja por movimientos en masa, 22% amenaza media, 20% amenaza alta y 4 % en amenaza muy alta” (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2016).

Estos movimientos en masa, se han incrementado durante los últimos años, de acuerdo al Servicio Geológico Colombiano (2017) uno de los fenómenos que más daño ha causado, es el de la niña, afectando gravemente los sectores de vivienda, infraestructura de transporte y agricultura; agudizado durante los últimos años, donde el período de lluvias ha sido más fuerte, incentivando la generación de deslaves, desprendimientos, flujos y la reactivación de deslizamientos, impactando de forma negativa a la población colombiana.

Duque (2003) explica que estos movimientos de masa, específicamente en la zona andina, se dan por las fallas activas que se tienen, que incide en laderas inestables y zonas con fracturamiento, donde los materiales presentan trituración y brechamiento.

El departamento de Risaralda, se encuentra ubicado en la zona Andina, que como explica Duque tiene diferentes fallas activas, aunado a esto, específicamente el municipio de Dosquebradas según la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (2008) tiene una precipitación de lluvias por encima del promedio nacional, con alta intervención húmeda, catalogado como propenso a crecientes súbitas de sus cuencas.

En razón a lo anterior, los terrenos de la microcuenca de la quebrada Frailes, la cual realiza la conexión entre el barrio Frailes y la Vereda Alto el Toro, son altamente susceptibles a la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa.

Dicho tramo, según los informes de la CARDER, presenta una falla, la cual cruza la zona al SE en dirección NE, evidenciada en la expresión morfológica lineal de la quebradas Frailes, roca brechada en el Alto El Toro, afectada además por las fallas La Negra (Presencia de silletas, roca brechada) y San Roque (Morfología de cuchillas alineadas, zonas cizalladas y deflexiones en algunos drenajes) (Corporación Autónoma Regional de Risaralda, 2008).

En el tramo objeto de estudio, la CARDER (2008) ha identificado diferentes factores de afectación, tales como procesos erosivos, específicamente de socavación de orillas y de profundización, además del lecho también se extrae material de arrastre de las márgenes, también es afectada por los movimientos en masa, especialmente deslizamientos planares.

En el mes de mayo del año 2019, se reportaron deslizamientos que afectaron la Quebrada Frailes, los cuales llevaron a la evacuación de los habitantes de las zonas aledañas a éste afluente ante el riesgo de una probable avalancha (El Diario, 2019), así mismo en el año 2018, se registró un desborde en la quebrada Frailes afectando a los habitantes de la vereda El Alto Toro, generando pérdidas materiales en hogares, establecimientos comerciales y la afectación de varias vías (El Tiempo, 2018)

A partir del anterior panorama, donde se evidencia la problemática y susceptibilidad a la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa en el Sector Frailes- Vereda Alto, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son las propiedades de los suelos de la zona que condicionan la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa (FRM) en el corredor vial Frailes- Vereda Alto El Toro en el municipio de Dosquebradas, Risaralda?

3. JUSTIFICACIÓN

La pertinencia del tema de investigación, se sustenta en que los estudios de los fenómenos de remoción en masa, son de suma importancia para el país, aportando a la estructura de sus políticas públicas, dado que su identificación aporta no sólo en los planes de desarrollo territorial sino también en los planes de la gestión del riesgo.

El Gobierno Nacional ha planteado la gestión del riesgo como tema de interés general, lanzando estrategias como el Atlas de Riesgo y Resiliencia Comunitaria COMUNGERD -Comunidades Unidas en Gestión del Riesgo de Desastres, buscando mejorar la toma de decisiones con estudios de diferentes amenazas y desarrollar capacidades en las personas para conocer y reducir los riesgos (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2019).

En el país, la gestión de riesgo implica el estudio de la amenaza, la identificación y localización de los elementos expuestos, debido a los procesos de inestabilidad que sufren las diferentes obras, considerando el sometimiento a diferentes detonantes como el agua, los sismos y los factores antrópicos (Servicio Geológico Colombiano, 2016), los cuales pueden generar remoción en masa, trayendo como consecuencia los deslizamientos, que no solo generan pérdidas económicas, sino y más importante aún, pérdida de vidas humanas.

En razón a lo anterior, el estudio de fenómenos de remoción en masa, es un tema de la actualidad investigativa, que de acuerdo al Servicio Geológico Colombiano (2017) ha permitido durante los últimos años mitigar la inestabilidad de ciertas estructuras, a través de campañas para el control de erosión, donde los resultados de dichos estudios son socializados, buscando que las comunidades tengan el conocimiento suficiente sobre los mismos y se tengan “comunidades más resilientes”.

Los deslizamientos de masa, afectan gravemente a una población, causando no solo pérdidas materiales sino también de vidas. El Banco Mundial (2012) considera que estos desastres, afectan el desarrollo del país y atrasan el logro de las metas de bienestar social que ha planteado el Gobierno nacional, además que dichos desastres no son causados directamente por la naturaleza sino que es “el resultado de la aplicación de modelos inapropiados de desarrollo que no consideran la relación sociedad-naturaleza”.

Así las cosas, la evaluación de la condición de susceptibilidad a la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa (FRM) en el tramo Sector Frailes- Vereda Alto El Toro en el municipio de Dosquebradas, Risaralda, es un tema de interés regional y nacional, que aporta no solo al sector de la geotecnia y de la ingeniería civil, sino también a las autoridades locales y departamentales.

Los resultados de la investigación, tienen aplicación práctica, se pueden utilizar para plantear estrategias de mitigación del riesgo, mejorando por ende la calidad de la vida de las personas al disminuir su exposición a las amenazas, así mismo, aportan a la planificación del ordenamiento territorial, como documento técnico de zonificación de fenómenos de remoción en masa.

4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la condición de susceptibilidad a la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa (FRM) en el tramo Sector Frailes- Vereda Alto El Toro en el municipio de Dosquebradas, Risaralda.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los parámetros físico-mecánicos de las formaciones superficiales de la cuenca de la quebrada Frailes.
- Establecer las relaciones entre parámetros físico-mecánicos de los suelos y la ocurrencia de deslizamientos en la cuenca de la quebrada Frailes.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 MARCO TEÓRICO

5.1.1 Estabilidad de taludes

Según De Matteis (2003) un talud en una “Superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanente las estructuras de la tierra”, involucrando en su estudio la mecánica de suelos y de rocas, cuando éste se da de forma genera se denomina ladera natural, cuando son elaborados por el hombre se llaman cortes o taludes artificiales, en los de corte se hace excavación en formación térrea natural, también conocida como desmonte, en los artificiales son los lados inclinados en los terraplenes.

Suarez (1998) lo define como la parte de ladera que no es plana, por consiguiente, tiene pendientes o variaciones de alturas, denominado ladera, cuando es un proceso natural y talud, cuando es un proceso con intervención humana, como se distingue en la figura 1:

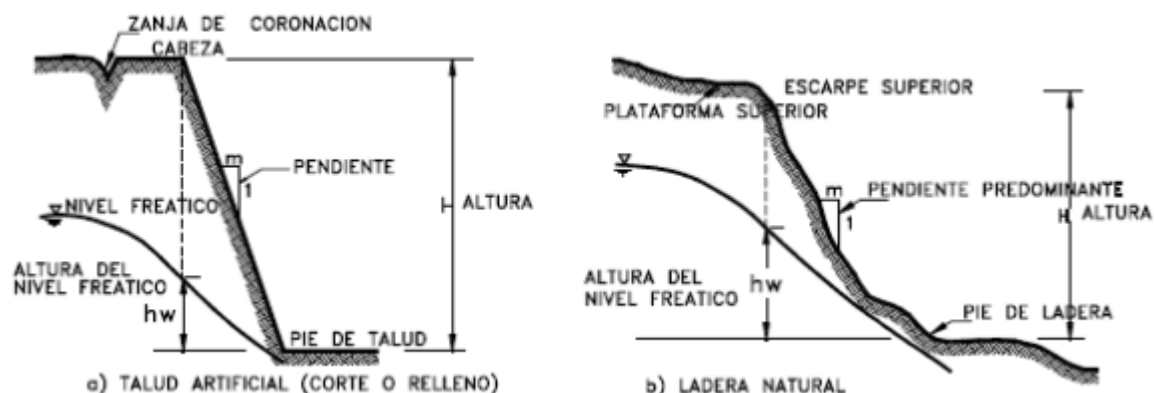


Figura 1. Clase de taludes

Fuente: (Suarez, 1998)

Un talud está conformado por cinco elementos:

Tabla 1. Elementos que conforman un talud

Elemento	Definición
Pie	Sitio donde se denota el cambio fuerte de la pendiente en la parte inferior
Cabeza o escarpe	Sitio donde se denota el cambio fuerte de la pendiente en la parte superior
Atura	Distancia que hay entre el pie y la cabeza de forma vertical, esta se puede valorar de forma clara en los taludes, en las laderas es más difícil valorar por las características más variadas de los terrenos.
Altura del nivel freático	Distancia que hay entre el nivel de agua debajo de la cabeza hasta el pie tomada en forma vertical.
Pendiente	Forma de determinar la medida de la inclinación y se puede usar varias unidades de medida: grados – porcentajes.

Fuente: (Suarez, 1998)

Debido a la importancia de los taludes, es necesario estudiar su estabilidad, algunos autores como De Matteis (2003), ha definido la estabilidad de los taludes como la “seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento”.

Por su parte, Crespo (2004) afirma que el talud no se puede considerar estable, ésta se pierde debido a los agentes naturales como las presiones hidrostáticas, el intemperismo y la erosión, pero cuando los parámetros del corte cuentan con un límite elástico definido, la falla del talud se da como deslizamiento de una parte de dicho parámetro, presentando en materiales con poca o mucha cohesión, cuando el suelo además está en estado plástico la falla se presenta como escurrimiento lodoso o fijo plástico, cuando el material del talud presenta alta fracturación ocurre un derrumbe o desplome.

Así mismo, Suarez (1998) considera que existen fenómenos que alteran la estabilidad de las laderas como son la sismicidad, cambios topográficos, cambios en la resistencia del suelo, flujos de agua subterránea, y cambios variados naturales que cambian dicha estabilidad.

De Matteis (2003) define como deslizamiento a la “rotura y desplazamiento del suelo situado debajo de un talud”, como un movimiento hacia abajo y hacia afuera, los tipos que con mayor frecuencia se presentan son:

- Deslizamiento superficial: deslizamiento ladero abajo, dividido en deslizamiento estacional, el cual afecta la corteza superficial y el masivo que afectan las capas más profundas.
- Movimientos del cuerpo del talud: movimientos bruscos que afectan toda la masa del talud.
- Flujos: movimientos rápidos de una parte de la ladera. A

La inestabilidad de los taludes, la tipificó Varnes en 1988 (Citado por Valiente, Sobrecase, & Díaz, 2015), la cual obedece al mecanismo de rotura y propagación del movimiento, según las características morfológicas, se tienen los siguientes tipos de movimientos:

- Deslizamiento de tierra rotacional
- Deslizamiento de tierra traslacional
- Deslizamiento de montaña
- Derrumbe
- Flujo de escombros
- Avalancha de escombros
- Flujo de tierra
- Arrastre
- Extensión lateral

De acuerdo al Servicio Geológico Colombiano (2017) en la región andina de Colombia, existen tres tipos de deslizamientos: el rotacional, que puede ser simple o múltiple; el traslacional que se da como planar o cuña y el compuesto que es progresivo, este instituto ha identificado los siguientes factores y causas de la inestabilidad de taludes y laderas:

- Presencia de algunos tipos de materiales, los cuales inciden en una baja resistencia inicial o escasa durabilidad: rocas lodosas, areniscas y conglomerados pobremente cementados, cenizas, lapilli y otros materiales piroclásticos intercalados o no con lavas, margas con abundante arcilla, rocas metamórficas con abundante mica, arcillas normalmente consolidadas y materiales orgánicos, depósitos de origen aluvial de carácter torrencial y rocas y minerales solubles (Servicio Geológico Colombiano, 2017).
- Factores relacionados con el estado de alteración o degradación mecánica: rocas y materiales volcánicos descompuestos, presencia de otros minerales de alteración desleíbles y fisiles, presencia de materiales arcillosos reblandecidos por humedad, presencia de materiales solubles, presencia de revestimientos externos de óxido de manganeso y rocas de falla asociadas a metamorfismo dinámico (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

- Factores relacionados con la actitud estructural: discontinuidades estructurales, alternancia de capas permeables e impermeables, actitud estructural que permite acumulación de agua y alternancia de conglomerados (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

5.1.2 Formaciones superficiales

Las formaciones superficiales abarcan la geomorfología y los procesos denudacionales, los cuales afectan las formas y el desarrollo de los suelos, esta denudación es originada por el arranque y acarreo de las partículas por varios procesos erosivos, mismos que se pueden incrementar debido a la degradación de los suelos y las rocas, por el cambio climático, el uso inadecuado de los suelos (Hernández , 2010), según este autor los procesos que influyen en las formas del terreno, son la erosión y la sedimentación.

Carillo (2015) define que los suelos son “un cuerpo natural compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases, que se presenta en la superficie de la tierra” éstos ocupan un espacio y se caracterizan por el horizonte o capas, este material es un bien finito, “constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro y micro-organismos”.

Los suelos son formados por diferentes factores, como agentes, fuerzas, condiciones o la combinación de éstas, tales como (Carrillo, 2015):

- Clima: la temperatura y la precipitación generan algunas alteraciones y transformación mineral.
- Material parental: la roca sobre la cual se forma el suelo, define algunas características del mismo.
- Relieve: da características de masa y energía.
- Organismos: las formas biológicas (animales, bacterias, hongos, algas) indican en ciclos del carbono y el nitrógeno.
- Tiempo: el tiempo permite el desarrollo de las propiedades del suelo.

De acuerdo al IDEAM (1999), los suelos son el resultado de factores físicos, naturales y ambientales, las formaciones superficiales que junto a otros factores como la litología, estructura geológica, características bioclimáticas, pendiente y

formas de ocupación inciden en el sistema morfogénico de los suelos, el cual influye en los procesos erosivos, la amenaza natural y su oferta ambiental.

En razón a lo anterior, Llorente (2002) conceptúa que entre los procesos de alteración de los suelos, influyen factores físicos y químicos, como la hidrólisis, la oxidación, hidratación y la disolución, siendo importante, entre otros clasificar los minerales según su tamaño, a través de la granulometría, dado que las propiedades físico-químicas del suelo están en relación con la textura y la estructura, el índice de alteración, el oxihidróxido y la clasificación bioquímica.

Para Duque (2003) las fuerzas internas “son las principales responsables de las formas a gran escala que se observan sobre la superficie del planeta, como cordilleras y depresiones”

Duque (2003) expone los siguientes parámetros que influyen en el movimiento en masa:

- El tipo de material (clase de rocas, capa alterada y tipo de cobertura).
- Pendiente (gradiente, forma y longitud de las laderas).
- Condiciones hidrológicas (infiltración, permeabilidad, profundidad del agua subterránea y cantidad de agua)
- Procesos morfológicos (erosión fluvial e hídrica y movimientos masales).
- Parámetros externos (como la distribución de la pluviosidad, es decir, relación intensidad/período, la sismicidad y el vulcanismo).

Así mismo, considera que entre los procesos que facilitan el movimiento de masa, se encuentra la gravedad, la cual proporciona la energía para el movimiento pendiente abajo, pero también este movimiento se da por la acción del agua, por la geometría de los depósitos y por la naturaleza de los materiales (Duque , 2003).

5.1.3 Resistencia al cortante

Moreno (2013) resalta que la resistencia al corte de un suelo “determina factores como la estabilidad de un talud, la capacidad de carga admisible de una cimentación y el empuje de un suelo contra un muro de contención”, siendo un análisis necesario para fijar la estabilidad de una masa de suelo.

Coulomb en 1776, identificó que los suelos fallaban por efectos del esfuerzo cortante en planos de falla, estableciendo la denominada ley de resistencia al corte, en la que el esfuerzo cortante calculado τ depende del esfuerzo normal actuante σ y del ángulo de fricción del suelo ϕ , también argumentó que la resistencia al corte de los suelos dependía del tipo de material, integrando el parámetro de resistencia c denominado cohesión (Citado en Juárez & Rico, 2005).

Otras teorías relacionadas con la resistencia al cortante, es la expuesta por Guest (Citado por Juárez & Rico , 2005), quien atribuye que la falta está determina por el máximo esfuerzo cortante o la máxima diferencia entre los esfuerzos principales, la teoría de Mohr supone que la falta por deslizamiento ocurre cuando la relación del esfuerzo tangencial alcanza el valor máximo

La resistencia al corte o cizalladura, es el punto inicial para el procedimiento que permite atender las dificultades de empuje de tierras contra estructuras de contención, de estabilidad de taludes de suelos en terraplenes y cortes, y de capacidad de soporte. Lo anterior teniendo en cuenta que los suelos están expuestos a “esfuerzos de compresión, tracción y cizalladura como cualquier estructura, pero su resistencia a la falla por ruptura depende fundamentalmente de su resistencia a la cizalladura” (Duque , 2003).

Para medir la resistencia al corte, Coulomb establece que “un material falla cuando el esfuerzo cortante en una dirección dada de éste llega a igualar a la resistencia a la cizalladura en esa misma dirección”, dependiendo de la cohesión y de la fricción interna entre los granos (Duque , 2003).

Por su parte, Crespo (2004) argumenta que para determinar el esfuerzo de corte, se deben analizar los componentes de cohesión del suelo y el ángulo de fricción interna, con pruebas como el aparato de corte directo de Arthur Casagrande y la prueba de compresión triaxial, la cual mide la resistencia intrínseca.

Cuando el esfuerzo cortante supera la resistencia al corte del suelo, ocurre el movimiento de masa; el esfuerzo cortante aumenta por eventos como sismos, variaciones morfológicas desfavorables, entre otras, por su parte la disminución de la resistencia al corte del suelo se da por saturación o meteorización (Duque , 2003).

Así mismo, para determinar las propiedades de los suelos, son necesarios diferentes ensayos, los cuales se pueden clasificar en dos grupos: 1. Ensayos para

determinar las propiedades geotécnicas de los suelos y 2. Ensayos que permiten la comprensión de fenómenos geotécnicos (Tomás, y otros, 2013).

Ensayos para determinar las propiedades geotécnicas de los suelos:

- Peso específico de las partículas de la fracción sólida del suelo (γ_s). Propiedad física del suelo que se define como el peso de una unidad de volumen de la fracción sólida de ese suelo, condicionada por la naturaleza mineralógica del suelo (Tomás, y otros, 2013).
- Peso específico seco (γ_d) definido como el cociente entre el peso de las partículas sólidas (W_s) y el volumen aparente o total (V) (incluyendo huecos ocupados por el aire y el agua) que ocupa dicho suelo.

Respecto a los ensayos de laboratorio, Olgún (2011) señala que los suelos gruesos definen su resistencia al esfuerzo cortante en función de dos propiedades: la orientación de las partículas y la composición granulométrica.

- Composición granulométrica. Identificación de los tamaños que presentan los suelos gruesos, permite definir el comportamiento de los mismos, respecto a la cantidad de tamaños de las partículas que lo componen.
- Orientación de las partículas. Un suelo grueso debe tener una buena orientación de las partículas para tener una buena resistencia al esfuerzo cortante.

Crespo (2004) expone que las características que se deben identificar en los suelos son:

- Peso volumétrico
- Densidad
- Granulometría
- Absorción
- Estructura

Dentro de las características es fundamental determinar la plasticidad de los suelos, dado que esta propiedad es la que incide en que los suelos se deformen hasta cierto límite, sin que se rompan, para su determinación se aplican en ensayo de los límites

Atterberg, hallando el límite líquido, el límite plástico y el límite de contracción (Crespo, 2004).

5.1.4 Fenómenos de remoción en masa

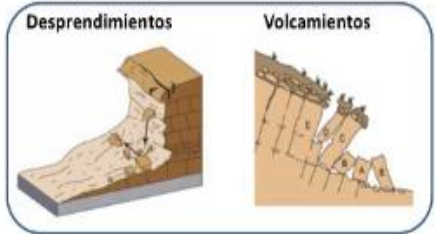
Los fenómenos de remoción en masa, son definidos por Hauser (Citado por Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile, 2008), como procesos de ‘movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores’.


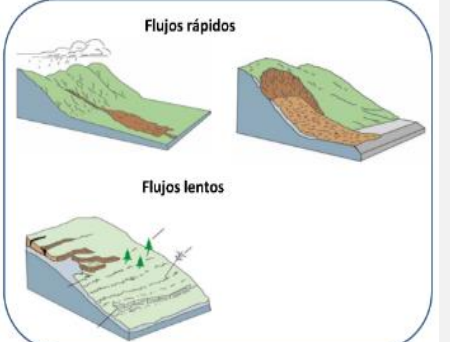
Duque (2003) se refiere a éste fenómeno como los movimientos de la roca y del material no consolidados, en respuesta a la atracción de la gravedad, generados principalmente por agentes externos como la fuerza del sol y la fuerza de la gravedad.

Cuanalo & Gallardo (2016) afirman que los movimientos en masa se presentan de una forma más continua en zonas de morfología montañosa y escarpada, debido a las erosiones y la meteorización, generando caídas de grandes masas, flujo de detritos y deslizamientos.

Según el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (2016) los principales tipos de movimientos en masa se dividen en tres grupos, los cuales se resumen en la tabla 2:

Tabla 2. Principales tipos de movimientos en masa

Tipo de movimiento en masa	Descripción	Figura
Desprendimientos y volcamientos	Uno o varios bloques del suelo o roca se desprenden de una ladera	

Tipo de movimiento en masa	Descripción	Figura
Deslizamientos	Movimiento del material a lo largo de la ladera sobre un plano o superficie, pueden ser de tipo traslacional, rotacional, en roca o corrimientos laterales	
Flujos reptaciones y	Movimiento del material por acción de la gravedad, causando desplazamiento	

Fuente: (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2016)

Por su parte, el Servicio Nacional de Geología y Minería (Servicio Nacional de Geología y Minería, 2007) divide los movimientos en masa en seis tipos:

- a) Caídas: Caída de roca (detritos o suelo)
- b) Volcamiento: Volcamiento de roca (bloque), volcamiento flexural de roca o del macizo rocos.
- c) Deslizamiento de roca o suelo: Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña, deslizamiento rotacional.
- d) Propagación lateral: Propagación lateral lenta, propagación lateral por licuación (rápida)
- e) Flujo: Flujo de detritos, crecida de detritos, flujo de lodo, flujo de tierra, flujo de turba, avalancha de detritos, avalancha de rocas, deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación (de arena, limo, detritos, roca fracturada)
- f) Reptación: Reptación de suelos, solifluxión, geliflaxión (en permafrost).

Los autores Varnes (1978), Hauser (1993) y Cruden & Varnes (1996), (Citados por Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile, 2008) clasifican

las remociones en masa en: desprendimientos o caídas, deslizamientos (rotacionales y traslacionales, flujos, toppling o volcamientos y extensiones laterales.

Estos tipos de remociones en masa, son causados por diferentes factores, según la (Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile (2008), los siguientes son los factores condicionantes relevantes para cada tipo de remoción en masa:

Tabla 3. Factores condicionantes relevantes para cada tipo de remoción en masa

Factores condicionantes	Tipo de remoción en masa				
	Caídas	Deslizamientos	Toppling	Flujos	Extensiones Laterales
Geología y Geotecnia (Tipo de depósito y el material que lo compone, su densidad, plasticidad, humedad, permeabilidad; la litología de las rocas, su estructura, alteración y meteorización)					
Geomorfología (Topografía, pendientes de las laderas, cambios fuertes de pendientes de las laderas y la extensión y altura de las laderas)					
Hidrología e Hidrogeología (Red de drenaje, las posiciones y variaciones del nivel freático, caudales, coeficientes de escorrentía y coeficientes de infiltración)					
Vegetación y Clima (Precipitaciones, temperaturas, viento y radiación solar)					
Actividad Antrópica (Excavaciones, rellenos, construcción de estructuras, urbanización, cambios en el uso del suelo, extracción de áridos y acumulación de escombros)					

Fuente: (Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile, 2008)

5.1.5 Gestión del riesgo de desastres

La gestión de riesgo es un proceso social, dividida en tres componentes: el conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres,

En el país, la gestión del riesgo, está regulada por la Ley 1523 de 2012, regida bajo 15 principios: igualdad, protección, solidaridad social, auto conservación, participación, diversidad cultural, interés social, precaución, sostenibilidad ambiental, gradualidad, sistémico, coordinación, subsidiaridad y oportuna información, enfocados a la protección y mejoramiento de la calidad de vida y un desarrollo sostenible (Congreso de Colombia, 2012).

En el ámbito de la gestión de riesgo de desastres, el país estructuró el plan nacional, el cual se convierte en una estrategia de desarrollo (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - UNGRD, 2015), basado en cuatro prioridades:

- a) Entendimiento del riesgo de desastres.
- b) Fortalecimiento de la gobernanza del riesgo de desastres para su mejor gestión.
- c) Reducción del riesgo de desastres para la resiliencia.
- d) Mejor preparación para el desastre

El plan de la gestión de riesgo de desastres incluye un desarrollo sostenible, conceptualizado como “un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad” (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - UNGRD, 2015).

Lo anterior, índice en una planificación y desarrollo territorial sostenible que aporten a la gestión del riesgo de desastre.

5.2 MARCO DE ANTECEDENTES

Matilla y Troncoso (2018) realizaron la investigación “Simulación del comportamiento dinámico del fenómeno de remoción en masa para flujos rápidos, utilizando el método de los elementos discretos”, en el cual midieron el alcance y velocidad de una masa deslizante de material desagregado, mediante simulaciones numéricas con el método de elementos discretos, es decir, a través de un software

libre, simularon el deslizamiento de partículas, encontrando validez en estos procesos de simulación, los cuales podrían beneficiar a las viviendas y vías aledañas a los taludes, resaltando la importancia de los estudios de los Fenómenos de Remoción en Masa para el beneficio de las comunidades.

Román y Chio (2018), establecieron las variaciones conceptuales entre dos modelos de deslizamiento en bloque, el Modelo Uniparamétrico y el Modelo Biparamétrico, los cuales plantean modelos matemáticos de los parámetros cinemáticos de los flujos de escombros para predecir las amenazas ante deslizamientos de tierra. El Servicio Geológico Colombiano, sugiere el uso del modelo uniparamétrico, el cual se centra en la fricción, siendo éste ángulo el parámetro más sensible en el modelo, pero para obtener resultados confiables se debe utilizar una herramienta, técnica o metodología confiable para estimar dicho parámetro.

Enríquez (2018) analizó la presencia de laderas inestables provocadas por el terremoto del año 2016 en Ecuador, para lograr los objetivos aplicaron la metodología de Newmark en términos de aceleración crítica e Intensidad de Arias, divido en dos fases, en la primera estudiaron la estabilidad de las laderas, mediante el Método de Equilibrio Límite (MEL) estático, con base de la actualización del inventario de FRM; en la segunda correspondió al análisis dinámico, donde se evaluó la susceptibilidad de deslizamientos con el valor de aceleración crítica, los resultados arrojaron zonas de susceptibilidad de nivel medio por deslizamientos.

Carrera y Carlosoma (2017) investigaron sobre los Fenómenos de Remoción en Masa en los taludes, en una quebrada de Quito, a través de una investigación técnico experimental, donde analizaron la estabilidad de taludes con el método de Límite de Equilibrio, el cual considera los factores geológicos, geometría del talud, factores geotécnicos y tipo de superficie de rotura; encontrando 36 fenómenos, 26 por deslizamientos rotacionales y 9 por caídas de bloques como movimiento primario.

Pinto (2016) estudió la vulnerabilidad por el fenómeno de remoción en masa en una vereda el municipio de Silvania, Cundinamarca, la metodología partió del análisis de documentación del municipio, mapas proporcionados por el IGAC y el Servicio Geológico Colombiano SGC e información hidrológica y meteorológica, para evaluar el comportamiento del objeto de estudio, paso seguido se elaboraron matrices donde se evidenció el área de susceptibilidad.

Soto y Rojas (2015) investigaron sobre la susceptibilidad de fenómenos de remoción en masa y uso de sistemas de información geográfica, tema de interés por el crecimiento humano que han tenido las principales ciudades, utiliza la propuesta metodológica de Jiménez (2009), la cual propone cuatro niveles de susceptibilidad denominados II (baja), III (moderada), IV (media) y V (alta) y la simulación de redes neuronales artificiales, integrados con el uso de sistemas de información geográfica (SIG) para el procesamiento de datos y presentación de mapas, la metodología partió de consular información existente relacionada con sondeos geotécnicos, zonificación geotécnica, estudios de erosión y flujo, caracterización geomecánica de materiales, comportamiento de suelos, complementándola con trabajo de campo e identificación y caracterización de procesos erosivos y de inestabilidad.

Mergili, Marchant y Moreiras (2015) estudiaron sobre las causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina, bajo una metodología de revisión comparativa, concluyendo que procesos de remoción en masa son normalmente parte de una cadena de procesos, los cuales generan consecuencias socioeconómicas.

Ramos, Trujillo y Prada (2015) realizaron un análisis descriptivo de procesos de remoción en masa en Bogotá, clasificando en 12 categorías los FRM: avalancha, caída de roca, caída de bloques, deslizamiento, deslizamiento planar, deslizamiento rotacional, deslizamiento traslacional, erosión, flujo de lodo, flujo de material desagregado, flujo de roca y reptación, se encontró que el material deslizado se divide en tres categorías predominantes de geomateriales: suelo, roca y detritos, encontrando que las “posibles causas” son: lluvia, excavación, explotación minera, rotura de tubería, sismo, intervención antrópica, expansión radicular y socavación.

Chinchilla (2015) determinó la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en Gramalote Norte de Santander, estudio realizado después de que este municipio sufrió una catástrofe por un fenómeno de remoción en masa detonado por el incremento en las precipitaciones, la metodología siguió el análisis del sistema en riesgo, basado en la identificación de diferentes parámetros técnicos, los cuales permitieron la clasificación según una metodología de zonificación, entre los resultados del proyecto se encontró que los deslizamientos ocurridos en el municipio, coincidían con las áreas marcadas en el mapa de susceptibilidad, dándole mayor validez a estos mapas, resaltando que es necesario un “inventario de deslizamientos más preciso, más datos de daños y la información más detallada acerca de los factores de inestabilidad”, además que estas investigaciones se deben complementar con estudios de mecánica de rocas y de suelos y datos de geología estructural.

Valencia (2012) estudió sobre la amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa en dos megaproyectos del departamento del Santander, enfocado en la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo, con escenarios para el análisis de los procesos geológicos y geotécnicos, concluyendo que con el análisis de riesgos se obtienen las pautas necesarias para el diseño del estudio de vulnerabilidad. La metodología para éste análisis parte de identificar los niveles de amenaza del sistema y su vulnerabilidad, cuantificar el potencial de que estos se conviertan en siniestros y valorar los daños en los diferentes escenarios analizados, el autor propone una matriz de valores del riesgo, dependiendo de la probabilidad, entre frecuente, ocasional, remoto, difícil e improbable.

Los antecedentes descritos, evidencian la importancia del tema objeto de estudio, donde se han implementado diferentes metodologías que incluyen el análisis de la amenaza, la identificación de los niveles y la valoración del riesgo, validando la propuesta metodológica de la presente investigación.

5.3 MARCO LEGAL (NORMATIVO)

El marco legal (normativo) del proyecto, se presenta en la tabla número 4:

Tabla 4. Marco legal (normativo)

Norma / Ley	Resumen de la filosofía de la Ley	Importancia en el desarrollo de la investigación
Ley 388 de 1997	Establece mecanismos que permiten al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo	Define y estructura los planes de desarrollo territorial en los municipios
Ley 1523 de 2012	Se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.	Da sustento a la importancia de la investigación, exponiendo la obligatoriedad de establecer medidas de mitigación, prevención y atención
Decreto 1807 de 2014	Reglamenta el artículo 189 del Decreto-ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial	Regula los estudios básicos de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), entre ellos el de movimiento de masa

Norma / Ley	Resumen de la filosofía de la Ley	Importancia en el desarrollo de la investigación
NSR 10	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente	Regula las condiciones que deben tener las construcciones en el país
Acuerdo 014 de junio de 2000	POT de Dosquebradas	El POT es el instrumento básico para desarrollar el proceso de Planificación y Ordenamiento Municipal.
NTC 78	Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos	Establece el procedimiento para determinar la granulometría por lavado de tamiz
INV.E-120-13	Determinación del potencial de cambio volumétrico de un suelo empleando el aparato de lambe	Procedimiento necesario para determinar la gravedad específica
INV.E-122-13	Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo -agregado	Procedimiento necesario para determinar el contenido de humedad
INV.E-125-13	Determinación del límite líquido de los suelos	Procedimiento necesario para determinar el límite líquido
INV. 126-13	Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	Procedimiento necesario para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad
INV.E-130-13	Permeabilidad de suelos granulares (cabeza constante)	Procedimiento necesario para determinar el peso unitario
INV.E-152-13	Compresión inconfiada en muestras de suelos	Procedimiento necesario para en ensayo de compresión no confinada
INV.E-154-13	Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (CD)	Procedimiento necesario para determinar el corte directo

Fuente: trabajo investigativo basados en las normas citadas

5.4 MARCO CONCEPTUAL

Áreas con condición de amenaza: zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de

expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2017).

Áreas con condición de riesgo: las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2017).

Amenaza: peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, el cual puede causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (Congreso de Colombia, 2012).

Análisis y evaluación del riesgo: implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir, se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades (Congreso de Colombia, 2012).

Conocimiento del riesgo: identificación de escenarios de riesgo, análisis, evaluación, monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre (Congreso de Colombia, 2012).

Desastre: es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales (Congreso de Colombia, 2012).

Erosión: proceso de pérdida continua y selectiva de materiales ocasionada por agentes naturales o antrópicos (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

Gestión de riesgo de desastre: también denominado gestión del riesgo, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible (Congreso de Colombia, 2012).

Intensidad de un movimiento en masa: conjunto de datos espacialmente distribuidos relacionados con el potencial destructivo de un movimiento en masa (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

Movimiento en masa: movimientos de ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

Prevención de riesgo: medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo (Congreso de Colombia, 2012).

Reducción del riesgo: proceso de la gestión del riesgo, compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entendiéndose: mitigación del riesgo y a evitar nuevo riesgo en el territorio (Congreso de Colombia, 2012).

Riesgo: medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, salud, propiedad o el ambiente. Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a eventos físicos peligrosos de origen natural, socionatural, o antrópico no intencional, en un periodo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

Vulnerabilidad: susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente (Congreso de Colombia, 2012).

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN Y TIPO DE ESTUDIO

Para evaluar la condición de susceptibilidad a la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa (FRM) en el tramo Sector Frailes- Vereda Alto El Toro en el municipio de Dosquebradas, Risaralda, se plantea un enfoque cuantitativo y un estudio descriptivo, toda vez que se parte de los estándares establecidos en la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa que dispuso el Servicio Geológico Colombiano para este tipo de estudios. La investigación se enfoca en los parámetros físico-mecánicos de las formaciones superficiales de la cuenca de la quebrada Frailes, por tanto, no se desarrollan todas las etapas propuestas por la guía, sino que se consideran algunas de ellas a través de una investigación con enfoque cuantitativo haciendo análisis a través de datos estadísticos.

La guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, argumenta las etapas descritas en la figura 2:

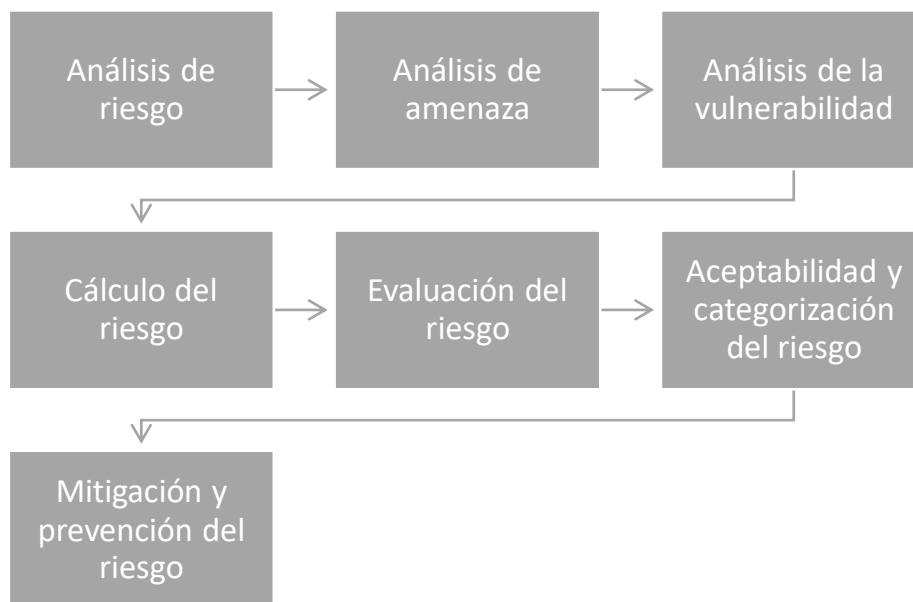


Figura 2. Etapas para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa según guía metodológica del SGC

Fuente: Servicio Geológico Colombiano

Para la investigación se implementó el análisis de amenaza, iniciando por el análisis geológico-geotécnico, planteando escenarios de amenaza y zonificando la misma, en esta etapa se consideración de los factores condicionantes de inestabilidad del área de estudio (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

6.2 MATRIZ DE DISEÑO METODOLÓGICO

En la tabla 5 se detalla la matriz de diseño metodológico, explicando para cada objetivo la técnica y la variable de estudio.

Tabla 5. Matriz de diseño metodológico

Objetivo específico a alcanzar	Técnica	Variable
Identificar los parámetros físico-mecánicos de las formaciones superficiales de la cuenca de la quebrada Frailes.	<p>Análisis de la amenaza:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identificación y localización de los elementos expuestos - Caracterización de los elementos expuestos <p>Ensayos de laboratorio</p> <ul style="list-style-type: none"> - Granulometría - Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad - Compresión no confinada - Gravedad específica - Corte directo - Peso unitario - Contenido de humedad <p>Evaluación del riesgo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cálculo del riesgo 	Riesgo

Objetivo específico a alcanzar	Técnica	Variable
Establecer las relaciones entre parámetros físico-mecánicos de los suelos y la ocurrencia de deslizamientos en la cuenca de la quebrada Frailes	Análisis de resultados de laboratorio Análisis estadístico	Parámetros físicos Parámetros mecánicos

Fuente: trabajo investigativo

6.3 FASES Y RESULTADOS

Fase I: Recopilación y análisis de información.

Se recopila y analiza la información de orden geológico y geotécnico del tema en general y de la zona objeto de estudio.

Fase II: Identificación de metodología

Se analiza la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, elaborada por el Servicio Geológico Colombiano.

Fase III: Trabajo de campo

Se realiza reconocimiento de la zona, analizando el uso del suelo, se procede a recolectar muestras.

Fase IV: Pruebas de laboratorio

Se realizan las pruebas de laboratorio, permitiendo determinar el perfil del suelo, sus estratos y propiedades mecánicas.

Fase V: Análisis de información

Se analizan los resultados mediante herramienta estadística

Fase VI: Elaboración informe final

Se estructura el informe final, el cual contiene los resultados de la investigación.

7. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN








7.1 PARÁMETROS FÍSICO-MECÁNICOS DE LAS FORMACIONES SUPERFICIALES DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA FRAILES.

A continuación, se relacionan los parámetros físicos – mecánicos de las formaciones superficiales de la cuenca de la Quebradas Frailes, específicamente el tramo Sector Frailes- Vereda Alto El Toro en el municipio de Dosquebradas, Risaralda.

Los parámetros físicos-mecánicos se evaluaron en 10 puntos geotécnicos críticos del corredor vial objeto de estudio. En la tabla 6 se describe cada punto, la localización (Alto del toro, coordenadas de cada punto), en la última columna, correspondiente al registro fotográfico se detalla las coordenadas exactas (Latitud, longitud) de cada punto.

Tabla 6. Punto de localización

Punto	Localización	Profundidad	Observaciones	Registro fotográfico
1	Alto del Toro	1 metro desde el pie del talud	<p>Muestreo sobre vía terciaria destapada, caída de banca en parte externa de la vía del talud.</p> <p>El suelo es de color pardo amarillento, con vegetación en la parte superior del talud, encontrando maní forrajero.</p>	

Punto	Localización	Profundidad	Observaciones	Registro fotográfico
2	Alto del Toro	1 metro desde el pie del talud	Muestreo sobre vía terciaria pavimentada, talud de 2 metros. Sobre el talud se encuentra siembra de plantas de plátano y árbol de yarumo.	 
3	Alto del Toro	0,9 metros desde el pie del talud	Talud de 7 metros, sobre vía terciaria pavimentada. Sobre el talud se observa rastrojo y un árbol de yarumo.	 
4	Alto del Toro	1 metro desde el pie del talud	Muestreo sobre vía terciaria pavimentada (huellas). En el talud se observa rastrojo, aproximadamente con 20 metros de altura.	 
5	Alto del Toro	1 metro desde el pie del talud	Encima del talud hay actividad pecuaria, específicamente ganadería, se observa la siembra	
















Punto	Localización	Profundidad	Observaciones	Registro fotográfico
			de árbol quebra barriga.	
6	Alto del Toro	1 metro desde el pie del talud	Color amarillento pálido. Se ubica sobre una vía destapada que lleva a una finca. Encima se observa rastrojo.	
7	Alto del Toro	0,3 metros desde el pie del talud	En la parte superior del talud se observa rastrojo y matas de helecho.	
8	Alto del Toro	1,2 metros aproximadamente	Suelo anaranjado. Se observan plantas de iraca con pasto, existe sobrecarga por edificación.	










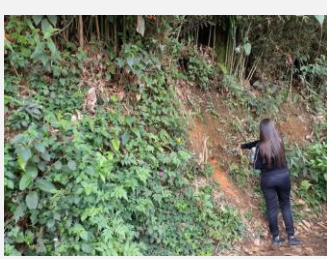





Punto	Localización	Profundidad	Observaciones	Registro fotográfico
9	Alto del Toro	1,4 metros desde el pie del talud	<p>El talud se encuentra sobre una vía terciaria sin pavimentar.</p> <p>Encima se observan plantas de guadilla. El suelo es de color marrón.</p>	
10	Alto del Toro	1,3 metros desde el pie del talud	<p>Encima del talud se observan plantas de guadilla y una cochera para cría de cerdos.</p> <p>El color del suelo es café claro.</p> <p>Se ubica sobre sobre vía pavimentada con placa huella en concreto ciclópeo, al pie del talud se observa concreto con roca.</p>	

Fuente: trabajo investigativo

En la tabla 7, se detallan los 10 puntos evaluados, con evidencia fotográfica de la vista general, la toma de muestra y el tratamiento de la misma.

Tabla 7. Toma de muestras en cada punto

Punto	Vista general	Toma de muestra	Tratamiento de muestra
1			
2			
3			
4			
5			

Punto	Vista general	Toma de muestra	Tratamiento de muestra
6			
7			
8			
9			
10			

Fuente: trabajo investigativo

7.1.1 Granulometría

El ensayo de granulometría se realizó para las 10 muestras descritas anteriormente, mediante lavado en tamiz 200, tomando un total de 2 kilos de masa de cada una. El método de lavado fue mediante agua, con agente dispersor, los resultados se evidencian en la tabla 8.

Tabla 8. Porcentaje de finos según muestra de granulometría

Muestra	Profundidad	Porcentaje de finos
1	1 metro desde el pie del talud	99
2	1 metro desde el pie del talud	99,3
3	0,9 metros desde el pie del talud	97,5
4	1 metro desde el pie del talud	93,5
5	1 metro desde el pie del talud	99,9
6	1 metro desde el pie del talud	92,1
7	0,3 metros desde el pie del talud	85,2
8	1,2 metros aproximadamente	92,8
9	1,4 metros desde el pie del talud	99,2
10	1,3 metros desde el pie del talud	99,6

Fuente: trabajo investigativo

Al evaluar el porcentaje de suelos finos, es decir, arcillas y limos, los cuales pasaron el tamiz No. 200, se encontró que en todas las muestras es superior o igual a 85,2% e inferior o igual a 99,9%, según la INVE – 181-13, se considera suelo fino, dado que más del 50% superó el tamiz No. 200.

Estos suelos finos, agrupados en arcillas y limos, según la INVE – 102 – 13, la arcilla puede presentar plasticidad a cierta humedad y resistencia cuando se seca al aire. Por su parte los limos pueden o no ser plásticos y tener poco o ninguna resistencia.

En la figura 3, se detallan los resultados obtenidos en las 10 muestras tomadas, evidenciando que el porcentaje de suelos finos, oscila entre el 85,2% y el 99,9%.

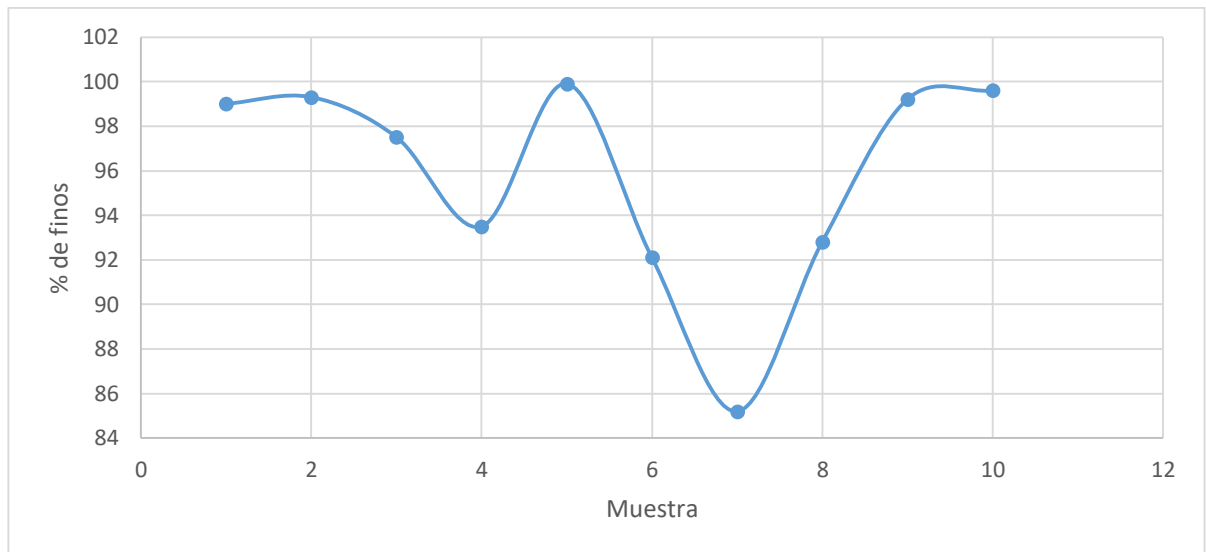


Figura 3. Granulometría de las muestras

Fuente: trabajo investigativo

El menor porcentaje de suelos finos se presenta a menor profundidad, en este caso 0,3 metros, suelo que corresponde a la parte superior del talud, donde existe rastrojo y vegetación de helechos. El mayor porcentaje de suelos finos, se obtuvo en la muestra número 5, a una profundidad de 1 un metro desde el pie del talud, corresponde también a suelo encima del talud, el cual está destinado para actividad agropecuaria, lote ganadero.

7.1.2 Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

Para el ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, se tomó la masa muestra a humedad natural para los diez puntos objeto de estudio. El límite líquido se obtuvo mediante el método Casagrande, con tres mediciones, el primero a 29 golpes, el segundo a 23 y el último a 15 golpes, determinando el límite líquido según el porcentaje de humedad de intersección de la curva a 25 golpes, para obtener el promedio del límite plástico se realizaron tres pruebas con una masa húmeda (Mh) de 7 gramos.

En la tabla 9, se relacionan los resultados de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad para cada muestra.

Tabla 9. Resultados de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad para cada muestra

Muestra	Profundidad	Límite líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)
1	1 metro desde el pie del talud	52	46	6
2	1 metro desde el pie del talud	82	52	12
3	0,9 metros desde el pie del talud	37	25	30
4	1 metro desde el pie del talud	27	17	10
5	1 metro desde el pie del talud	91	63	28
6	1 metro desde el pie del talud	31	30	1
7	0,3 metros desde el pie del talud	28	19	9
8	1,2 metros aproximadamente	36	32	4
9	1,4 metros desde el pie del talud	36	35	1
10	1,3 metros desde el pie del talud	63	52	11

Fuente: trabajo investigativo

7.1.2.1 Límite líquido

El límite líquido mide el contenido de la humedad del suelo, permite determinar el límite entre dos estados, el líquido y el plástico, de acuerdo a los resultados del ensayo se encontró que el menor límite líquido está en la muestra número 4, con un 27%, el mayor corresponde a la muestra número 5, que registró 91%.

En la figura 4, se puede observar el límite líquido para las diez muestras:

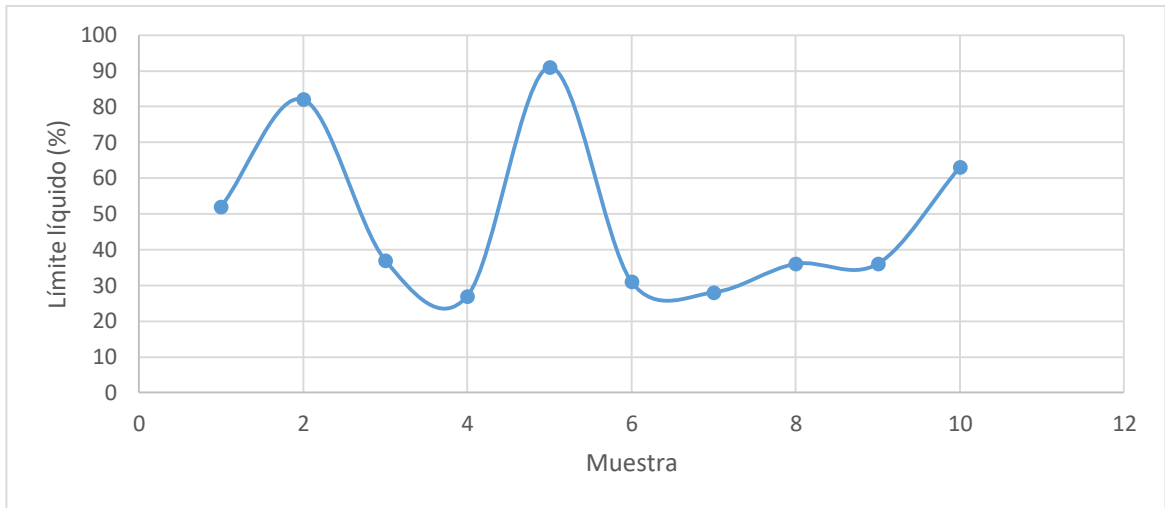
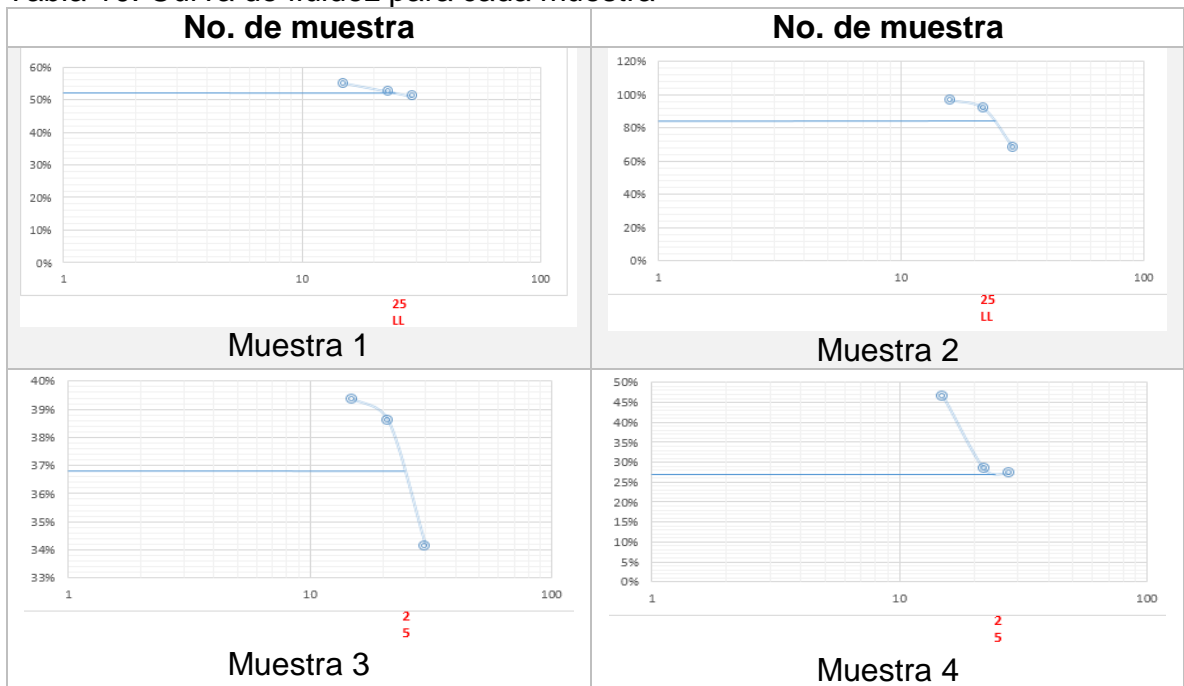
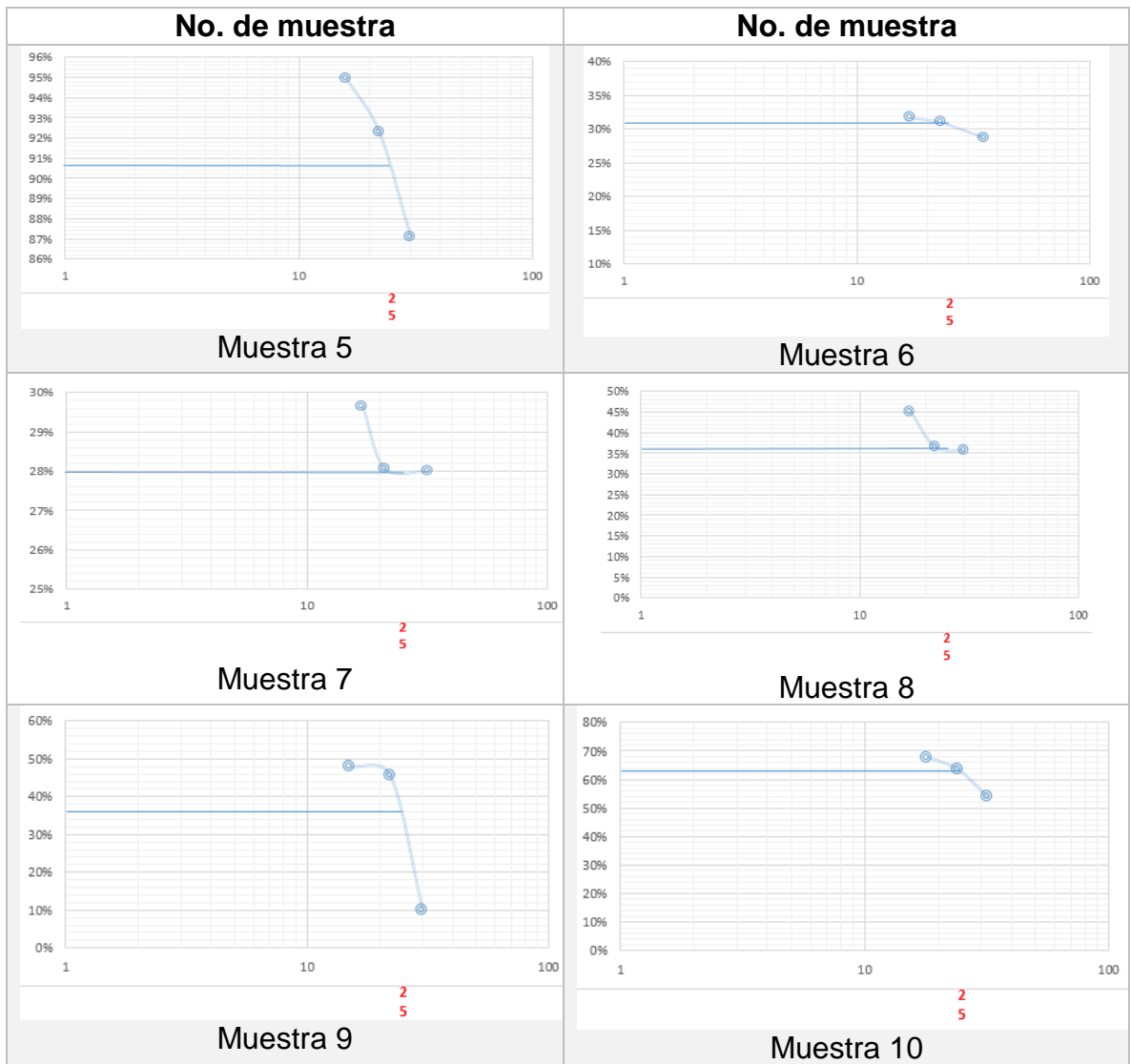


Figura 4. Límite líquido
Fuente: trabajo investigativo

En la siguiente tabla, se observa para cada muestra el punto a los 25 golpes, donde se alcanza la humedad necesaria para que el suelo pase de un estado plástico a líquido:

Tabla 10. Curva de fluidez para cada muestra





Fuente: trabajo investigativo

La INV E – 181 – 13 clasifica los suelos, según el porcentaje de suelos finos y el de límite líquido.

La siguiente clasificación obedece a los suelos finos con un límite líquido menor al 50%, de acuerdo a la INV E – 181 – 13.

Tabla 11. Suelos finos con un límite líquido menor al 50%

Muestra	Profundidad	Porcentaje de finos	Límite líquido (%)
3	0,9 metros desde el pie del talud	97,5	37
4	1 metro desde el pie del talud	93,5	27
6	1 metro desde el pie del talud	92,1	31
7	0,3 metros desde el pie del talud	85,2	28
8	1,2 metros aproximadamente	92,8	36
9	1,4 metros desde el pie del talud	99,2	36

Fuente: trabajo investigativo basado en INV E – 181 – 13

Seis de las 10 muestras, presentaron un porcentaje de límite líquido menor al 50%,

Según la INVE – 181 – 13 la siguiente clasificación obedece a los suelos finos con un límite líquido mayor al 50%.

Tabla 12. Suelos finos con un límite líquido mayor al 50%

Muestra	Profundidad	Porcentaje de finos	Límite líquido (%)
1	1 metro desde el pie del talud	99	52
2	1 metro desde el pie del talud	99,3	82
5	1 metro desde el pie del talud	99,9	91
10	1,3 metros desde el pie del talud	99,6	63

Fuente: trabajo investigativo basado en INV E – 181 – 13

7.1.2.2 Límite plástico

En el límite plástico se evalúa el contenido de humedad al cual el suelo se agrieta, es decir, en qué punto el suelo pierde cohesión por la falta de humedad.

Los resultados del límite plástico se visualizan en la figura 5.

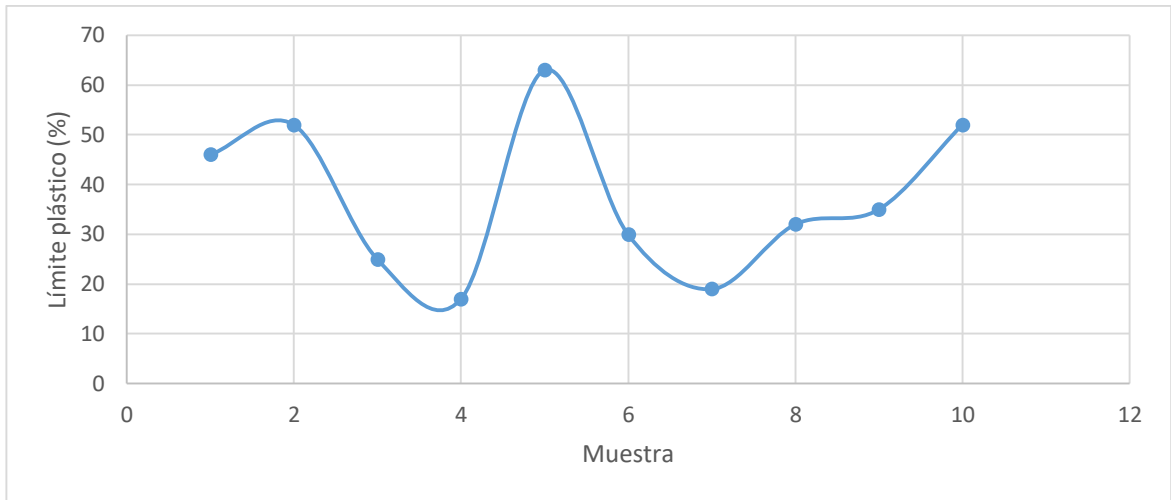


Figura 5. Límite plástico
Fuente: trabajo investigativo

El límite plástico está en un rango de 17% a 63%, siendo el menor porcentaje para la muestra 4, tomada a 1 un metro desde el pie del talud y el mayor para el punto 5, también a 1 metro de profundidad desde el pie del talud.

7.1.2.3 Índice de plasticidad

Con el índice de plasticidad se determinó en rango de contenido de agua sobre el cual el suelo se mantendrá plástico.

En la figura 6, se detalla el índice de plasticidad para las diez muestras.

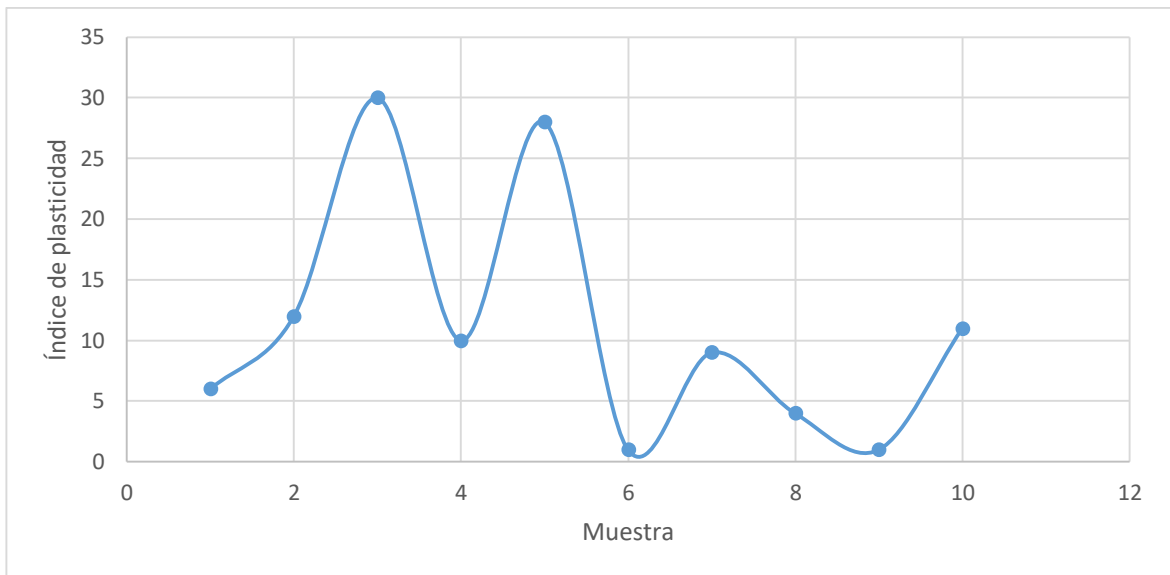


Figura 6. Índice de plasticidad

Fuente: trabajo investigativo

Según la INVE – 181 – 13, se clasifica como suelo limo a aquel que pasa el tamiz de 75 mm (No. 200), de plasticidad baja o nula, es decir, menor de 4.

La INVE – 181 – 13 clasifica como arcilla, aquel un suelo de grano, con un índice plástico mayor o igual a 4.

Según la INVE – 181 – 13, se realiza la siguiente clasificación del suelo:

Suelo limo: punto 6 con una profundidad de 1 metro desde el pie del talud y punto 9 a 1,4 metros desde el pie del talud, estos dos puntos presentan un índice de plasticidad el 1%

Arcilla: puntos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 y 10, a profundidades de 0,3, 0,9, 1, 1,2 y 1,3 metros desde el pie del talud

Una vez determinado el límite líquido, se establece la posición de la fracción fina en la carta de plasticidad a partir de sus valores de LL e IP, según la INVE – 181 – 13.

La siguiente clasificación obedece a los suelos finos con un límite líquido menor al 50%, de acuerdo a la INV E – 181 – 13.

Tabla 13. Clasificación según índice de plasticidad para límite líquido menor al 50%

Muestra	Profundidad	Índice de plasticidad	Denominación del grupo
3	0,9 metros desde el pie del talud	30	Arcilla de baja compresibilidad
4	1 metro desde el pie del talud	10	Arcilla de baja compresibilidad
6	1 metro desde el pie del talud	1	Limo de baja Compresibilidad
7	0,3 metros desde el pie del talud	9	Arcilla de baja compresibilidad
8	1,2 metros aproximadamente	4	Arcilla limosa
9	1,4 metros desde el pie del talud	1	Limo de baja compresibilidad

Fuente: trabajo investigativo basado en INV E – 181 – 13

Seis de las 10 muestras, presentaron un porcentaje de límite líquidos menor al 50%.

Según la INV E – 181 – 13 la siguiente clasificación obedece a los suelos finos con un límite líquido mayor al 50%.

Tabla 14. Clasificación según índice de plasticidad para límite líquido mayor al 50%

Muestra	Profundidad	Índice de plasticidad	Denominación del grupo
1	1 metro desde el pie del talud	6	Arcilla de alta compresibilidad
2	1 metro desde el pie del talud	12	Arcilla de alta compresibilidad
5	1 metro desde el pie del talud	28	Arcilla de alta compresibilidad
10	1,3 metros desde el pie del talud	11	Arcilla de alta compresibilidad

Fuente: trabajo investigativo basado en INV E – 181 – 13

En la figura número 7, se observa la clasificación del suelo:

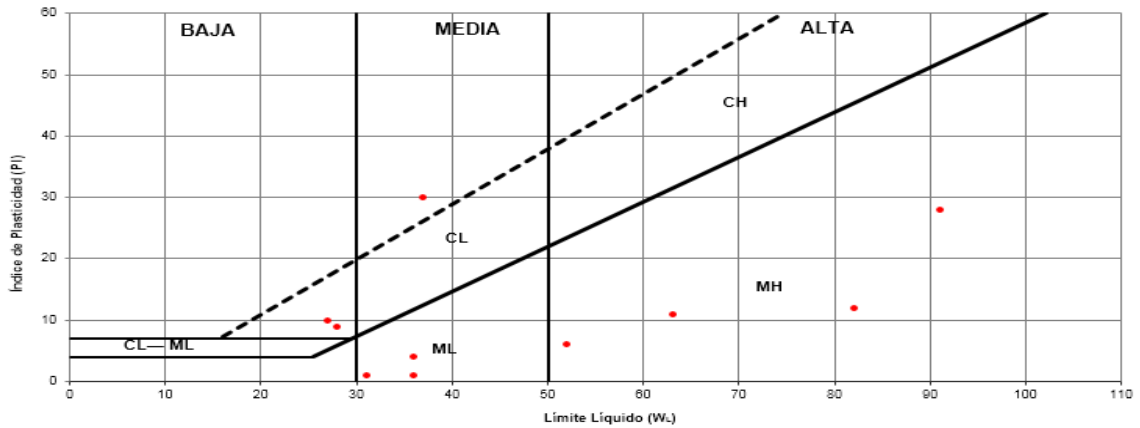


Figura 7. Clasificación del suelo

Fuente: trabajo investigativo

En la tabla número 15, se presenta la clasificación del suelo:

Tabla 15. Clasificación del suelo

Muestra	Profundidad	Clase de suelo
1	1 metro desde el pie del talud	MH (Limos inorgánicos de alta plasticidad)
2	1 metro desde el pie del talud	MH (Limos inorgánicos de alta plasticidad)
3	0,9 metros desde el pie del talud	CL (Arcilla inorgánica de media plasticidad)
4	1 metro desde el pie del talud	CL (Arcilla inorgánica de baja plasticidad)
5	1 metro desde el pie del talud	MH (Limos inorgánicos de alta plasticidad)
6	1 metro desde el pie del talud	ML (Limos orgánicos e inorgánicos de media plasticidad)
7	0,3 metros desde el pie del talud	CL (Arcilla inorgánica de baja plasticidad)
8	1,2 metros aproximadamente	ML (Limos orgánicos e inorgánicos de media plasticidad)

Muestra	Profundidad	Clase de suelo
9	1,4 metros desde el pie del talud	ML (Limos orgánicos e inorgánicos de media plasticidad)
10	1,3 metros desde el pie del talud	MH (Limos orgánicos e inorgánicos de media plasticidad)

Fuente: trabajo investigativo

7.1.3 Contenido de humedad

Se evaluó el contenido de humedad para los 10 puntos objeto de estudio, de acuerdo a la norma de referencia: INV.E-122-13, obteniendo el peso del recipiente seco, el peso de la muestra seca y el recipiente y la humedad final del suelo, cuyos valores se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 16. Contenido de humedad

Muestra	Profundidad	WR (g) peso del recipiente seco (%)	WS (g) peso de la muestra seca (%)	W (%) humedad final del suelo (%)
1	1 metro desde el pie del talud	34,5	73,7	28,6
2	1 metro desde el pie del talud	35,7	57,6	41,6
3	0,9 metros desde el pie del talud	30,9	62,3	20,7
4	1 metro desde el pie del talud	35,1	89	22,3
5	1 metro desde el pie del talud	46,4	63,4	50,6
6	1 metro desde el pie del talud	45,8	81,2	24,9
7	0,3 metros desde el pie del talud	111,6	155	15,7
8	1,2 metros aproximadamente	116,1	146,5	23
9	1,4 metros desde el pie del talud	120,8	151	32

Muestra	Profundidad	WR (g) peso del recipiente seco (%)	WS (g) peso de la muestra seca (%)	W (%) humedad final del suelo (%)
10	1,3 metros desde el pie del talud	119,2	143,6	45

Fuente: trabajo investigativo

El menor contenido de humedad se obtuvo en la muestra número 7, correspondiente al 15,7% a 0,3 metros desde el pie del talud, ubicado en la parte superior del talud, el cual cuenta con rastrojo y matas de helecho, el mayor contenido de humedad se tiene en el punto número 5, a 1 metro de profundidad desde el pie del talud, este punto está encima del talud, donde hay actividad pecuaria, específicamente ganadería, se observa la siembra de árbol quiebra barriga.

En la siguiente figura se observa en contenido de humedad de las 10 muestras:

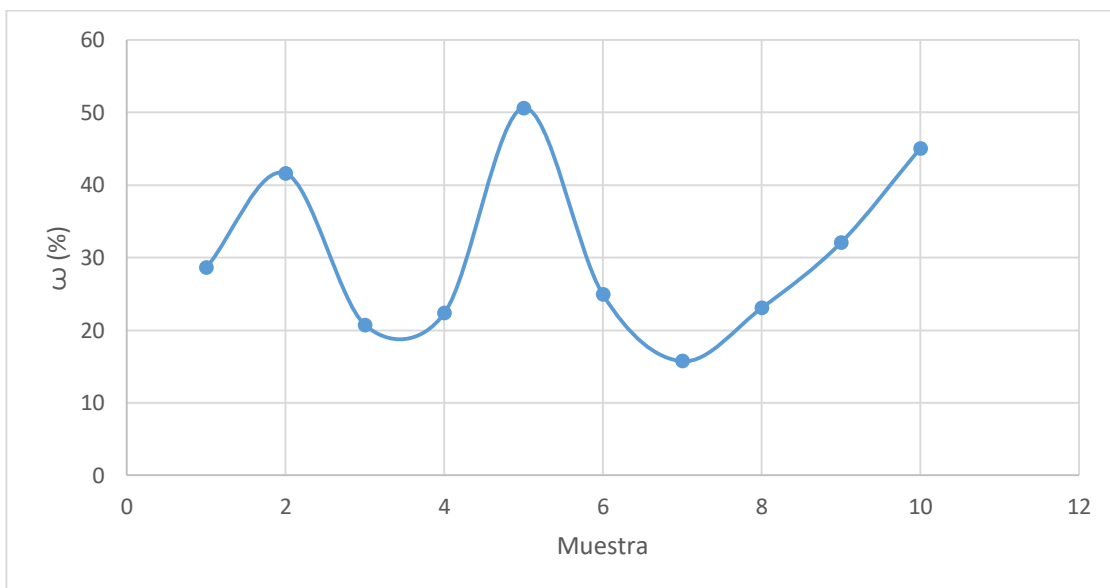


Figura 8. Contenido de humedad

Fuente: trabajo investigativo

Entre las muestras se presenta una diferencia porcentual de 34,9 puntos, este resultado es importante para explicar el comportamiento del suelo, donde se tiene un contenido de humedad mínimo de 15,7% y un contenido máximo de 50,6%, con un promedio de contenido de humedad de 30,44%.

7.1.4 Peso unitario

Para determinar el peso unitario se procedió según la norma de referencia: INV.E-130-13, en la siguiente tabla se relacionan los resultados:

Tabla 17. Peso unitario

Muestra	Profundidad	Pesos Unitarios g/cm³
1	1 metro desde el pie del talud	0,76
2	1 metro desde el pie del talud	0,41
3	0,9 metros desde el pie del talud	0,5
4	1 metro desde el pie del talud	1
5	1 metro desde el pie del talud	0,33
6	1 metro desde el pie del talud	0,65
7	0,3 metros desde el pie del talud	0,8
8	1,2 metros aproximadamente	0,54
9	1,4 metros desde el pie del talud	0,6
10	1,3 metros desde el pie del talud	0,47

Fuente: trabajo investigativo

El peso unitario de los suelos estudiados, cuyo valor depende también del contenido del agua, oscila entre 0,33 y 1.

7.1.5 Gravedad específica

El ensayo de gravedad específica se realizó según las normas de referencia INV.E-120-13, ASTM D854-10, resaltando su importancia pues ante una alteración de la humedad del suelo, se generan cambios volumétricos, los cuales traen como consecuencia movimientos en las estructuras, llegando a ocasionar incluso grietas.

Tabla 18. Gravedad específica

Muestra	Profundidad	Gravedad específica
1	1 metro desde el pie del talud	1,53
2	1 metro desde el pie del talud	2,02
3	0,9 metros desde el pie del talud	2,12
4	1 metro desde el pie del talud	2,55
5	1 metro desde el pie del talud	1,89
6	1 metro desde el pie del talud	2,41
7	0,3 metros desde el pie del talud	2,49

Muestra	Profundidad	Gravedad específica
8	1,2 metros aproximadamente	2,54
9	1,4 metros desde el pie del talud	2,17
10	1,3 metros desde el pie del talud	2,64

Fuente: trabajo investigativo

La gravedad específica se ubica en un rango de 1,53 y 2,64, valores normales para este tipo de suelos.

7.1.6 Resistencia a la compresión no confinada

Esta propiedad se evaluó según la resistencia a la compresión inconfiada, para lo cual se sometió la muestra a una carga para que ésta fallará o alcanzará el 20% de la deformación unitaria.


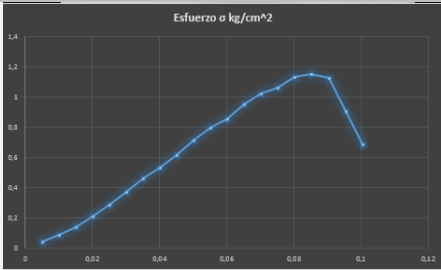

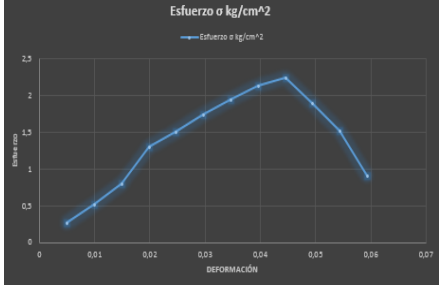

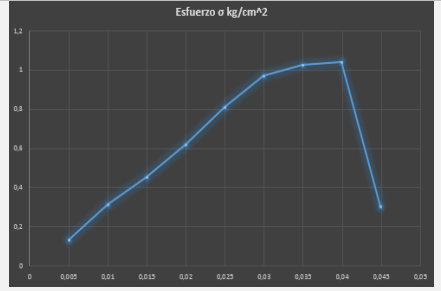

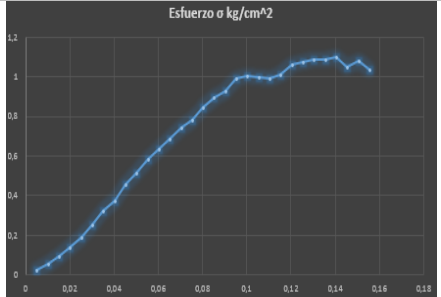
Tabla 19. Valores de la resistencia a la compresión inconfiada


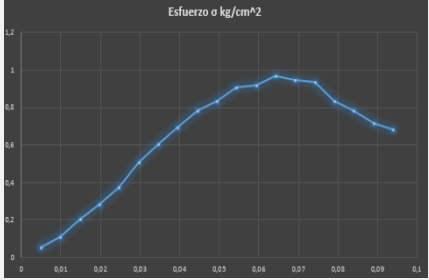

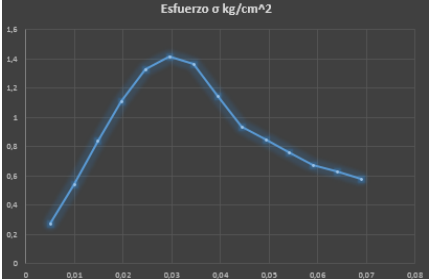

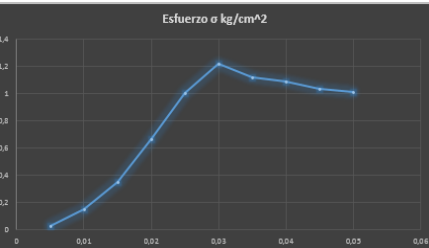

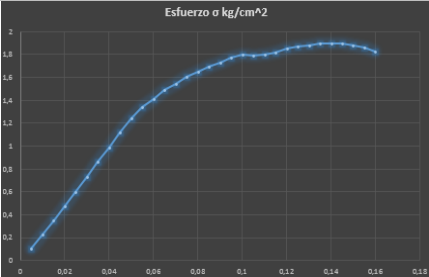
Muestra	Profundidad	Compresión no confinada (Kg/cm²)
1	1 metro desde el pie del talud	1.15
2	1 metro desde el pie del talud	2.25
3	0,9 metros desde el pie del talud	1.04
4	1 metro desde el pie del talud	1.10
5	1 metro desde el pie del talud	0.97
6	1 metro desde el pie del talud	1.22
7	0,3 metros desde el pie del talud	1.42
8	1,2 metros aproximadamente	1.89
9	1,4 metros desde el pie del talud	-
10	1,3 metros desde el pie del talud	-

Fuente: trabajo investigativo

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la resistencia a la compresión inconfiada, relacionando la evidencia fotográfica de la probeta, la gráfica del esfuerzo σ kg/cm² y el nivel de resistencia.

Tabla 20. Resultados de la resistencia a la compresión inconfiada

Muestra	Evidencia fotográfica probeta	Esfuerzo σ kg/cm ²	Resistencia
1			Resistencia firme
2			Resistencia muy firme
3			Resistencia firme
4			Resistencia firme

Muestra	Evidencia fotográfica probeta	Esfuerzo σ kg/cm ²	Resistencia
5			Resistencia mediana
6			Resistencia firme
7			Resistencia mediana
8			Resistencia mediana

Fuente: trabajo investigativo

Según el máximo esfuerzo donde se produce la falla, se encuentran suelos de resistencia mediana, firme y muy firme.

7.1.7 Resistencia al corte

Para evaluar la resistencia al corte, se realizó el ensayo de corte directo, en la siguiente tabla se presentan los resultados de cohesión (kg/cm^2) y fricción (grados) para cada punto analizado.

Tabla 21. Corte directo

Muestra	Profundidad	Cohesión (kg/cm^2)	Fricción (Grados)
1	1 metro desde el pie del talud	0,32	19,85
2	1 metro desde el pie del talud	0,49	25,70
3	0,9 metros desde el pie del talud	0,59	34,16
4	1 metro desde el pie del talud	0,24	29,28
5	1 metro desde el pie del talud	0,36	13,84
6	1 metro desde el pie del talud	0,60	32,41
7	0,3 metros desde el pie del talud	0,35	33,97
8	1,2 metros aproximadamente	0,40	28,91
9	1,4 metros desde el pie del talud	0,42	37,67
10	1,3 metros desde el pie del talud	0,89	39,65

Fuente: trabajo investigativo

En la siguiente figura se detalla la cohesión (kg/cm^2) de las diez muestras tomadas:

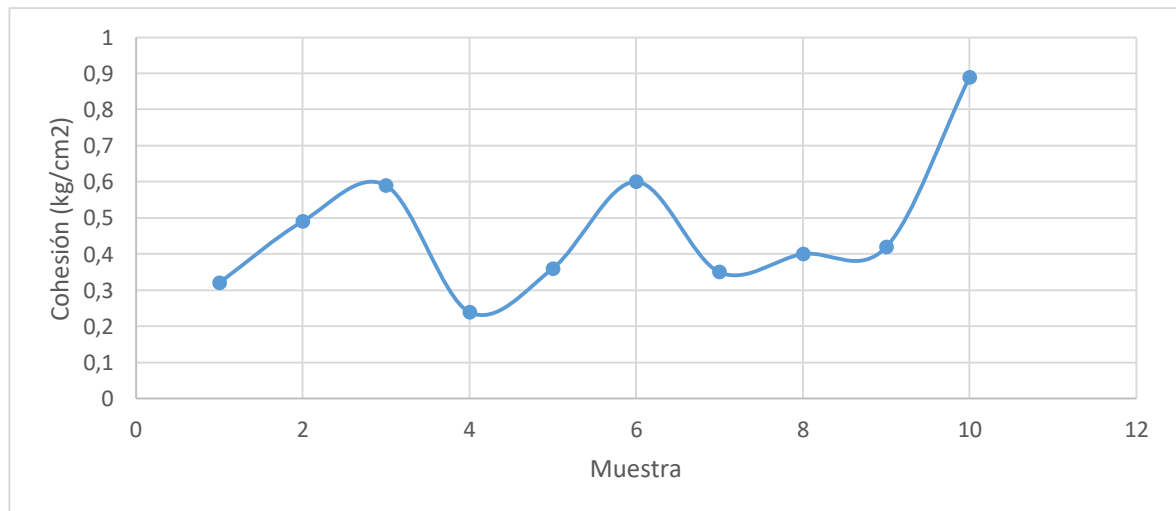


Figura 9. Cohesión (kg/cm^2)

Fuente: trabajo investigativo

La cohesión tiene un rango entre 0,24 en la muestra número 4 a 1 metro desde el pie del talud y 0,89 correspondiente a la muestra número 10 a 1,3 metros desde el pie del talud, con un promedio de cohesión de 0,47 (kg/cm²), por tanto, los suelos presentan adherencia de sus partículas, donde la posibilidad de un derrumbe es menor.

La fricción de las muestras objeto de estudio están en un rango de 13,84 y 39,65 grados, en la siguiente figura se evidencia sus resultados:

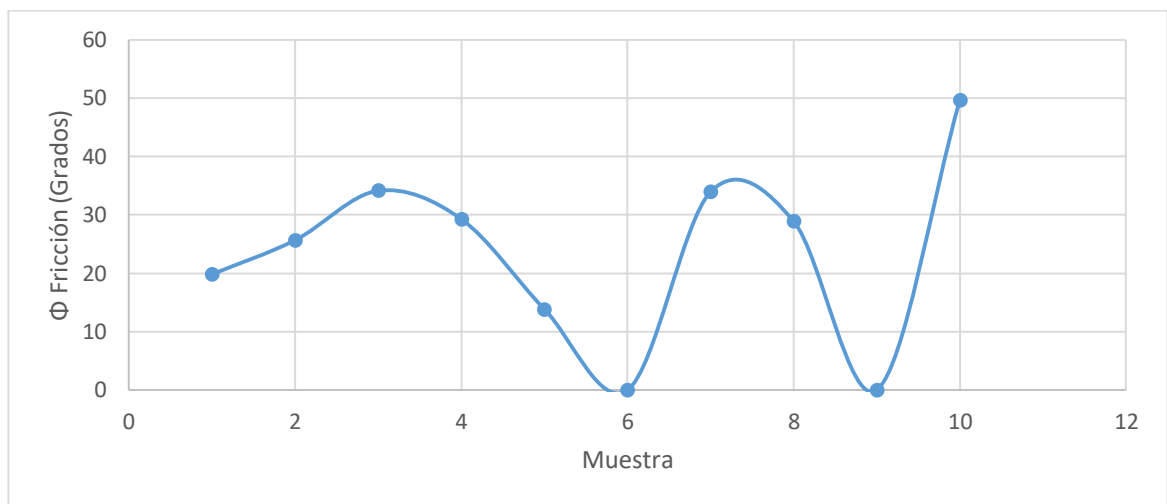


Figura 10. Fricción (Grados)

Fuente: trabajo investigativo

De acuerdo a los resultados del ángulo de fricción, se obtiene un resultado promedio de 23,53 grados, incidiendo en que el suelo sea cohesivo, por tanto, no se fracciona (IngeCivil, 2018).

7.2 RELACIONES ENTRE PARÁMETROS FÍSICO-MECÁNICOS DE LOS SUELOS Y LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS EN LA CUENCA DE LA QUEBRADA FRAILES.

Con fundamento en los distintos parámetros físicos – mecánicos, se presenta en la tabla 22 el resumen de los parámetros físico mecánico de los 10 sondeos realizados en el corredor vial del tramo Sector Frailes- Vereda Alto El Toro en el municipio de Dosquebradas, Risaralda.

Tabla 22. Síntesis parámetros físico mecánico de los 10 sondeos en el corredor vial

No. Punto	Contenido de humedad (%)	Limite liquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)	Gravedad específica	Lavado Tamiz (%)	Pesos Unitarios g/cm ³	Compresión no confinada (Kg/cm ²)	Cohesión (kg/cm ²) Fricción (Grados)
1	28,6	52	46	6	1,53	99	0,76	1.15 Resistencia firme	Cohesión: 0,32 Fricción: 19,85
2	41,6	82	52	12	2,02	99,3	0,41	2.25 Resistencia muy firme	Cohesión: 0,49 Fricción: 25,70
3	20,7	37	25	30	2,12	97,5	0,5	1.04 Resistencia firme	Cohesión: 0,59 Fricción: 34,16
4	22,3	27	17	10	2,55	93,5	1	1.10 Resistencia firme	Cohesión: 0,24 Fricción: 29,28
5	50,6	91	63	28	1,89	99,9	0,33	0.97 Resistencia mediana	Cohesión: 0,36 Fricción: 13,84
6	24,9	31	30	1	2,41	92,1	0,65	1.22 Resistencia firme	Cohesión: 0,60 Fricción: 32.41
7	15,7	28	19	9	2,49	85,2	0,8	1.42 Resistencia mediana	Cohesión: 0,35 Fricción: 33,97
8	23	36	32	4	2,54	92,8	0,54	1.89 Resistencia mediana	Cohesión: 0,40 Fricción: 28,91
9	32	36	35	1	2,17	99,2	0,6	-	Cohesión: 0,42 Fricción: 37.67
10	45	63	52	11	2,64	99,6	0,47	-	Cohesión: 0,89 Fricción: 39,65

Fuente: trabajo investigativo

Con los resultados obtenidos, se establece la relación de estos parámetros con la incidencia en los fenómenos de remoción en masa, correspondiente a los suelos del tramo objeto de estudio, teniendo en cuenta los antecedentes del sector:

7.2.1 Relación parámetros granulometría e índice de plasticidad

Para el estudio del parámetro de clasificación del suelo, se tomaron los resultados obtenidos en el estudio de granulometría y el índice de plasticidad, teniendo en cuenta la siguiente clasificación de susceptibilidad a FRM:

Tabla 23. Clasificación de susceptibilidad en relación al parámetro granulometría e índice de plasticidad

Clasificación	Tipo de suelo
Muy baja	Arcilla de baja plasticidad
Baja	Arcilla de media y alta plasticidad
Media	Limos de alta y baja plasticidad
Alta	Arenas
Muy alta	Gravas

Fuente: trabajo investigativo

En la tabla 24, se discrimina el nivel de susceptibilidad a FRM según el parámetro granulometría e índice de plasticidad

Tabla 24. Susceptibilidad en relación al parámetro de clasificación del suelo

Muestra	Profundidad	Clase de suelo	Susceptibilidad a FRM
1	1 metro desde el pie del talud	MH (Limos de alta plasticidad)	Media
2	1 metro desde el pie del talud	MH de alta (Limos de alta plasticidad)	Media
3	0,9 metros desde el pie del talud	CL de media (Arcilla de media plasticidad)	Baja

Muestra	Profundidad	Clase de suelo	Susceptibilidad a FRM
4	1 metro desde el pie del talud	CL (Arcilla de baja plasticidad)	Muy baja
5	1 metro desde el pie del talud	MH (Limos de alta plasticidad)	Media
6	1 metro desde el pie del talud	ML (Limos e inorgánicos de media plasticidad)	Media
7	0,3 metros desde el pie del talud	CL (Arcilla de baja plasticidad)	Muy baja
8	1,2 metros aproximadamente	ML (Limos de media plasticidad)	Media
9	1,4 metros desde el pie del talud	ML (Limos de media plasticidad)	Media
10	1,3 metros desde el pie del talud	MH (Limos de media plasticidad)	Media

Fuente: trabajo investigativo

Según el parámetro de clasificación de suelo, la susceptibilidad a los FRM, para el 70% de los puntos analizados es media, para el 20% muy baja y para el 10% baja.

7.2.2 Relación parámetros contenido de humedad y limite líquido

Se estableció la relación entre el parámetro de contenido de humedad y el de limite líquido, determinando la susceptibilidad a los FRM, para lo cual se procedió a encontrar la relación entre estos dos parámetros, teniendo en cuenta la siguiente clasificación:

Tabla 25. Clasificación de susceptibilidad en relación a los parámetros contenido de humedad y limite líquido

Clasificación	Resultado
Alta	Menor de 25%
Medio	Entre 25% y 50%
Baja	Mayor a 50%

Fuente: trabajo investigativo

En la tabla 26, se discrimina el nivel de susceptibilidad a FRM según los parámetros contenido de humedad y limite líquido.

Tabla 26. Susceptibilidad en relación a los parámetros contenido de humedad y limite líquido

Muestra	Profundidad	Contenido de humedad	Límite líquido	Relación	Susceptibilidad a FRM
1	1 metro desde el pie del talud	28,6	52	82%	Baja
2	1 metro desde el pie del talud	41,6	82	97%	Baja
3	0,9 metros desde el pie del talud	20,7	37	79%	Baja
4	1 metro desde el pie del talud	22,3	27	21%	Alta
5	1 metro desde el pie del talud	50,6	91	80%	Baja
6	1 metro desde el pie del talud	24,9	31	24%	Alta
7	0,3 metros desde el pie del talud	15,7	28	78%	Baja
8	1,2 metros aproximadamente	23	36	57%	Baja
9	1,4 metros desde el pie del talud	32	36	13%	Alta

Muestra	Profundidad	Contenido de humedad	Límite líquido	Relación	Susceptibilidad a FRM
10	1,3 metros desde el pie del talud	45	63	40%	Medio

Fuente: trabajo investigativo

Según los parámetros de contenido de humedad y límite líquido, la susceptibilidad a los FRM para el 30% de los puntos analizados es alta, para el 10% media y para el 60% la susceptibilidad es baja.

8. CONCLUSIONES

Los suelos de la zona objeto de estudio, pertenecientes a un tramo Sector Frailes-Vereda Alto El Toro en el municipio de Dosquebradas, Risaralda, en el 85,2% son de partículas finas, es decir, son suelos cohesivos, con capacidad de adherirse, con menor tendencia a probabilidad de deslizamiento.

El porcentaje más bajo de límite líquido y límite plástico se presenta en el punto 4 (N 4° 48.17.74548" LAT, W 75° 38.35.00124" LONG), con el 27% y el 17%, respectivamente, a 1 metro desde el pie del talud, sobre vía terciaria pavimentada (huellas), con rastrojo, aproximadamente de 20 metros de altura. El mayor porcentaje se tiene en el punto 5 (N 4° 48.20.37996" LAT, W 75° 38.35.36952" LONG), con un límite líquido de 91% y un límite plástico de 63%, también a 1 metro de profundidad desde el pie del talud, donde existe actividad agropecuaria (ganadería).

La zona objeto de estudio presenta un contenido de humedad mínimo de 15,7% y máximo de 50,6%, con un promedio de contenido de humedad de 30,44%, el contenido de humedad mínimo se encuentra en el punto 7 (N 4° 48.26.6292" LAT, W 75° 38.51.12456" LONG), a 0,3 metros de profundidad desde el pie del talud, caracterizado por tener rastrojo y matas de helecho, el mayor contenido de humedad está a 1 metro desde el pie del talud, en el punto número 5 (N 4° 48.20.37996" LAT, W 75° 38.35.36952" LONG), donde se realiza actividad de ganadería, infiriendo que las actividades agropecuarias contribuyen a incrementar factores generadores de fenómenos de remoción en masa.

Según la resistencia al corte, los suelos objeto de estudio presentan buena adherencia de sus partículas, donde la posibilidad de un derrumbe es menor, en los diferentes puntos evaluados el contenido de humedad es menor al límite líquido, incidiendo en una mayor resistencia al corte.

El resultado de la resistencia a la compresión clasifica los suelos en resistencia mediana, firme y muy firme, siendo de resistencia mediana los puntos número 5 (N 4° 48.20.37996" LAT, W 75° 38.35.36952" LONG) correspondiente al ubicado encima del talud donde hay actividad pecuaria a un metro de profundidad, al punto 7 (N 4° 48.26.6292" LAT, W 75° 38.51.12456" LONG) a 0,3 metros de profundidad, parte superior del talud donde se observa rastrojo y matas de helecho y al punto 8 (N 4° 48.25.8786" LAT, W 75° 39.3.5334" LONG) a 1,2 metros de profundidad aproximadamente, donde se observa sobrecarga por edificación; de resistencia

firme el punto número 1 (N 4° 48.13,78656" LAT, W 75° 38.15,49104" LONG) correspondiente al muestreo sobre vía terciaria destapada, al punto 3 (N 4° 48.15,2244" LAT, W 75° 38.33,0522" LONG), talud de 7 metros, sobre vía terciaria pavimentada, al punto 4 (N 4° 48.17.74548" LAT, W 75° 38.35.00124" LONG) correspondiente a muestreo sobre vía terciaria pavimentada (huellas) y al punto 6 (N 4° 48.24.98616" LAT, W 75° 38.40.0362" LONG), el cual se ubica sobre una vía destapada que lleva a una finca y por último el punto 2 (N 4° 48.10,21176" LAT, W 75° 38.26,817" LONG) de resistencia muy firme, muestreo sobre vía terciaria pavimentada, talud de 2 metros.

De acuerdo al método de sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S), para la identificación del suelo objeto de estudio se cuenta con suelos limos inorgánicos de alta plasticidad; suelos limos orgánicos e inorgánicos de media plasticidad, los suelos limos contienen partículas más finas, que no permiten fácilmente el paso del agua, otra ventaja es que al secarse no se agrieta, la desventaja son pocos estables cuando se humedecen; también se tienen suelos tipo arcilla inorgánica de baja y media plasticidad, siendo un suelo fino, con fuerte retención del agua y capacidad de volumen.

De acuerdo a la relación entre los parámetros de granulometría y el índice de plasticidad, la susceptibilidad a los FRM, para el 70% de los puntos analizados es media, para el 20% muy baja y para el 10% baja, la susceptibilidad más baja se encuentra en el punto número 3 (N 4° 48.15,2244" LAT, W 75° 38.33,0522" LONG).

Según la relación de los parámetros de contenido de humedad y límite líquido, la susceptibilidad a los FRM para el 30% de los puntos analizados es alta, específicamente en los puntos 4 (N 4° 48.17.74548" LAT, W 75° 38.35.00124" LONG), 6 (N 4° 48.24.98616" LAT, W 75° 38.40.0362" LONG) y 9 (N 4° 48.32.20668" LAT, W 75° 39.8.97264" LONG), para el 10% media y para el 60% la susceptibilidad es baja.

La susceptibilidad de los fenómenos de remoción en masa de los suelos del tramo Sector Frailes- Vereda Alto El Toro en el municipio de Dosquebradas, no se propicia por sus parámetros físicos y mecánicos, sino, por agentes externos, encontrando que son suelos finos, los cuales son resistentes a los FRM, este resultado es coherente con otros estudios, como el de Carrera y Carlosoma (2017), quienes encontraron que las amenazas antrópicas son relevantes y aumentan la ocurrencia de desplazamientos.

9. RECOMENDACIONES

Socializar los resultados de la investigación con las autoridades locales, como el Sistema de Gestión de Riesgo DIGER, Gobernación y Alcaldía Municipal, a fin de plantear estrategias que permitan la prevención y mitigación de un riesgo por deslizamiento, aportando de esta forma a la gestión del riesgo.

Se recomienda a las autoridades locales adelantar estudios de mayor detalle, que permitan avanzar en diagnósticos con mayor rigurosidad acerca de la incidencia de las lluvias como agentes detonantes, la vegetación y los cambios en la dinámica de los usos del suelo en la ocurrencia de deslizamiento en la microcuenca de la quebrada Frailes, en virtud de los fenómenos en remoción en masa, ocurridos durante los años 2018 – 2019.

Se debe ampliar el espectro de investigación en cuanto a factores externos, que permite identificar una mayor cobertura de la microcuenca de la quebrada Frailes.

Involucrar a la comunidad en la socialización de los resultados de la investigación y en la elaboración del plan de prevención y mitigación del riesgo, para que tomen conciencia y participen en algunas actividades de mitigación enfocadas al cuidado, como el adecuado manejo de los residuos sólidos y la reforestación.

Complementar la investigación realizada, con un estudio que contemple los aspectos ambientales y socioculturales, resultando de esta forma la caracterización geoambiental de la zona, el análisis de la susceptibilidad y la caracterización de la amenaza.

Controlar los asentamientos humanos y las actividades agropecuarias que se desarrollan, de tal forma que respondan a un estudio del uso del suelo, a lo larga de la cuenca Frailes se encuentran viviendas que aportan carga estructural.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banco Mundial Colombia. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia*. Bogotá : Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. Obtenido de <http://gestiondelriesgo.gov.co/sigpad/archivos/GESTIONDELRIESGOWEB.pdf>
- Carrera , S., & Carlosoma, F. (2017). Análisis del peligro por fenómenos de remoción en masa en los taludes de un tramo de la quebrada Shanshayacu, zona Quitumbe, distrito metropolitano de Quito. Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17237>
- Carrillo, H. (2015). Componente Suelos . *Presentación* . (A. N. Ambientales, Ed.) Bogotá: Subdirección de instrumentos, permisos y trámites ambientales. Obtenido de http://portal.anla.gov.co:93/documentos/9953_PRESENTACION_SUELOS.pdf
- Chinchilla , J. (2015). Determinación de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en Gramalote Norte de Santander. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/7453/ChinchillaVallejoJuanDavid2016.pdf;jsessionid=5EF75B7744AF58F9494E68E5AB42D2E0?sequence=1>
- Congreso de Colombia. (2012). Ley 1523. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1523_2012.html
- Corporación Autónoma Regional de Risaralda. (2008). *Diagnóstico de riesgos ambientales del municipio de Dosquebradas*. Dosquebradas: CARDER.
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de los suelos y cimentaciones* (5a ed. ed.). México: Limusa.
- Cuanalo, O., & Gallardo, R. (2016). Fenómenos de remoción en masa. Acciones para reducir la vulnerabilidad y el riesgo. *Vector* 11, 30-38.
- De Matteis , A. (2003). Geología y geotecnia: Tema Estabilidad de Taludes. Bogotá: Universidad Nacional del Rosario. Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf>
- Duque , G. (2003). *Manuel de Geología para Ingenieros*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- El Diario. (28 de Mayo de 2019). La tragedia de Dosquebradas. El Diario. Obtenido de <https://www.eldiario.com.co/la-tragedia-de-dosquebradas/>
- El Tiempo. (21 de Octubre de 2018). Aguacero que inundó varios sectores de Dosquebradas afectó 30 barrios. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/treinta-sectores-afectados-por-fuerte-aguacero-en-dosquebradas-283844>
- Enríquez, A. (2018). Zonificación de la susceptibilidad de fenómenos de remoción en masa provocados por terremotos en la ciudad de Portoviejo. Quito:

- Universidad Central del Ecuador . Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15636>
- Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile. (2008). *Remociones en masa*. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Departamento de Geología. Obtenido de file:///C:/Users/Toshiba/Downloads/APUNTE_2008_GL62C.pdf
- Hernández , A. (2010). Formaciones superficiales y procesos morfodinámicos en la cuenca del río Nosara. (U. d. Rica, Ed.) *Reflexiones*, 89(2), 39-49.
- IngeCivil. (2018). Información sobre los suelos cohesivos. Obtenido de <https://www.ingecivil.net/2018/08/09/informacion-sobre-los-suelos-cohesivos/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (1999). Caracterización de los Suelos y las Tierras. En M. y. Instituto de Hidrología, *El Macizo Colombiano y su área de influencia* (págs. 64-163). Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005192/macizo/pdf/Capitulo4.pdf>
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (2016). *Caracterización general del escenario de riesgo por movimientos en masa en Bogotá*. Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/rmovmasa#1>
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (2017). *Proyecto actualización componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria y actualización del Plan de Ordenamiento Territorial*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá. Obtenido de <http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/4-DOCUMENTO-TECNICO-DE-SOPORTE/Gestion%20del%20Riesgo.%20Amenazas%20MM%20C%20P OB.pdf>
- Juárez , B., & Rico , A. (2005). *Mecánica de suelos, Tomo I: Fundamentos de la mecánica de suelos*. (3. ed, Ed.) México, DF: Limusa .
- Llorente , M. (2002). *Formaciones Superficiales - Geología*. Salamanca: Universidad de Salamanca. Obtenido de <http://campus.usal.es/~delcien/doc/FS.PDF>
- Mantilla, D., & Troncoso, B. (2018). Simulación del comportamiento dinámico del fenómeno de remoción de masas para flujos utilizando el método de los elementos discretos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Mergili, M., Marchant, C., & Moreiras, S. (2015). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Revista Colombiana de Geografía*, 24(2), 113-131. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/50211/51664>
- Moreno, J. (2013). Ajuste a los parámetros de resistencia de depósitos de coluviones mediante correlaciones entre ensayos de laboratorio, exploración geotécnica y retro calculo. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería de Julio Garavito. Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/119/1/Moreno%20Salgado%20C%20Jorge%20Alejandro%20-%202013.pdf>
- Olguin , F. (2011). *Mecánica de Suelos 1*. Pachuca de Soto, Hgo.: Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Obtenido de

- https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Lectura/icbi/asignatura/MecaSuelosl.pdf
- Pinto, E. (2016). Análisis de vulnerabilidad por el fenómeno de remoción en masa en la vereda San Luis, municipio de Silvana, Cundinamarca. Bogotá: Universidad de La Salle. Obtenido de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20535/40041005_2016.pdf?sequence=1
- Ramos, A., Trujillo, M., & Prada, L. (2015). Análisis descriptivos de procesos de remoción en masa en Bogotá. *Obras y Proyectos*, 18. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132015000200006
- Román, D., & Chio, G. (2018). Análisis de modelos de deslizamiento en bloque para predecir el comportamiento dinámico del fenómeno de remoción en masa: Modelo Uniparamétrico y Modelo Biparamétrico. *Boletín de Geología*, 40(2), 113-124. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/boge/v40n2/0120-0283-boge-40-02-00113.pdf>
- Servicio Geológico Colombiano. (2016). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. Obtenido de https://www2.sgc.gov.co/Noticias/boletinesDocumentos/1642_Guia-Metodologica-27-07-2016-SinGuias.pdf
- Servicio Geológico Colombiano. (2016). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. Obtenido de https://www2.sgc.gov.co/Noticias/boletinesDocumentos/1642_Guia-Metodologica-27-07-2016-SinGuias.pdf
- Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. Obtenido de <https://www2.sgc.gov.co/Archivos/Clasificacion.pdf>
- Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Escala 1: 25.000*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. Obtenido de [https://www2.sgc.gov.co/Archivos/GM\(2017\).pdf](https://www2.sgc.gov.co/Archivos/GM(2017).pdf)
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (2007). *Movimientos en masa en la región Andina: una guía para la evaluación de amenazas*. Geología Multinacional. Obtenido de <https://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/442884/GuiaEvaPeligros.pdf/f7d8154f-4b11-407f-9cc1-8538b8d541ae?version=1.0>
- Soto, J., & Rojas, N. (2015). Evaluación de susceptibilidad de fenómenos de remoción en masa y uso de sistemas de información geográfica. *Ingenio Magno*, 6(2), 22-38.
- Suarez, J. (1998). *Deslizamientos. Estabilidad de taludes en zonas tropicales*. (I. d. Ltda., Ed.) Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos - Publicaciones UIS .

- Tomás, R., García, J., Santamarta, J., Hernández, L., Durá, J., & Cerdá, A. (2013). Herramientas de aprendizaje de mecánica de suelos. *Jornadas - Redes*. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - UNGRD. (2015). *Plan Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres*. Bogotá: Arkimax Internacional Ltda. Obtenido de <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/756/PNGRD-2016.pdf?sequence=27&isAllowed=y>
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2019). Así va la Gestión del Riesgo de Desastres en el primer año de gobierno del Presidente Iván Duque. Bogotá: UNGRD. Obtenido de <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2019/Asi-va-la-Gestion-del-Riesgo-de-Desastres-en-el-primer-ano-de-gobierno-del-Presidente-Ivan-Duque.aspx>
- Valencia, E. (2012). Evaluación de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa de los proyectos Acuarque, monumento al Santísimo y Getsemaní. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Valiente, R., Sobrecase, S., & Díaz, A. (2015). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. *Revista Civilizate*(7).